



Universidad  
Carlos III de Madrid

PROYECTO FIN DE CARRERA

# Ampliación de los Sistemas RFID en el Robot Maggie

Ingeniería de Telecomunicación

Autora: Marta Yébenes Calvino

Tutores: Ana del Valle Corrales

Miguel Ángel Salichs

Leganés, Octubre de 2011



# Índice general

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1    Motivación .....	1
1.2    Objetivos .....	1
1.3    Estructura de la memoria .....	2
<b>Tecnología RFID.....</b>	<b>3</b>
2.1    Introducción.....	3
2.2    Historia.....	5
2.3    Arquitectura de los sistemas RFID .....	5
2.3.1    Componentes y principios de funcionamiento .....	6
2.3.2    Etiquetas.....	7
2.3.3    Lector.....	10
2.3.4    Antenas.....	11
2.3.5    Sistema de gestión de la información .....	12
2.4    Frecuencias de operación .....	12
2.4.1    Banda de Baja Frecuencia (LF).....	13
2.4.2    Banda de Alta Frecuencia (HF) .....	13
2.4.3    Banda de Ultra Alta Frecuencia (UHF).....	13
2.4.4    Microondas.....	15
2.5    Estándares RFID .....	15
2.5.1    Normas ISO.....	15
2.5.2    Normas ETSI .....	16
2.5.3    Estándar EPC.....	17
2.6    Aplicaciones RFID en el campo de la Robótica .....	20
<b>Sistemas RFID en el Robot Maggie .....</b>	<b>23</b>
3.1    Introducción.....	23
3.2    Sistema RFID en HF .....	24
3.3    Análisis de requisitos .....	26
3.3.1    Requerimientos de Hardware .....	26
3.3.2    Requerimientos de Software .....	27
3.4    Sistema RFID en UHF.....	27
3.4.1    Lectores RFID.....	27
3.4.2    Etiquetas RFID .....	30
3.4.3    Estándar EPC Clase 1 Generación 2.....	31

<b>Habilidades RFID para el Robot Maggie.....</b>	<b>37</b>
4.1    Introducción.....	37
4.2    Arquitectura Software del Robot Maggie.....	37
4.3    Diseño de la Arquitectura Software para las Habilidades RFID.....	38
4.4    Ampliación de las Habilidades RFID.....	39
4.4.1    Bibliotecas OBID .....	39
4.4.2    Interfaz de Programación RFID .....	46
4.4.3    Elementos de la arquitectura AD para las Habilidades RFID.....	48
4.4.4    Habilidad de Lectura RFID .....	51
4.4.5    Habilidad de Escritura RFID .....	56
<b>Resultados experimentales.....</b>	<b>59</b>
5.1    Introducción.....	59
5.2    Pruebas con los lectores UHF .....	59
5.2.1    Detección de etiquetas .....	59
5.2.2    Rango de lectura .....	60
5.2.3    Tiempos de lectura.....	60
5.2.4    Tiempos de escritura.....	61
5.3    Pruebas con la Habilidad de Navegación.....	61
<b>Conclusiones y líneas futuras .....</b>	<b>65</b>
6.1    Conclusiones .....	65
6.2    Líneas futuras.....	66
<b>Presupuesto .....</b>	<b>67</b>
7.1    Estimación de costes.....	67
<b>Glosario .....</b>	<b>69</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>73</b>
<b>Configuración de los lectores RFID: Programa ISOStart.....</b>	<b>75</b>
A.1    Manual de instalación.....	75
A.1.1    Instalación del driver USB para los lectores OBID.....	75
A.1.2    Instalación del programa ISOStart .....	77
A.2    Quick Start Wizard .....	77
A.3    Descripción del programa ISOStart .....	80
A.3.1    Comandos.....	81

# Índice de figuras

Figura 1 – Perspectiva de las tecnologías de Identificación Automática más importantes.....	3
Figura 2 – Elementos de un sistema RFID .....	6
Figura 3 – Etiquetas pasivas .....	7
Figura 4 – Ejemplos de tags activos de la empresa Kimaldi.....	8
Figura 5 – Tags RFID de diferentes formas y tamaños.....	10
Figura 6 – Lectores fijo y móvil de la empresa Motorola.....	11
Figura 7 – Tags RFID con distintos tipos de antena.....	11
Figura 8 – Bandas de frecuencia RFID .....	12
Figura 9 – Código EPC versión 96 bits .....	18
Figura 10 – Ejemplos de robots de servicio con tecnología RFID.....	21
Figura 11 – Ejemplo de robots móviles con tecnología RFID.....	22
Figura 12 – Robot Pioneer 2 con lectores RFID para navegación .....	22
Figura 13 – Sistema RFID HF en el robot Maggie .....	23
Figura 14 – Lector RFID HF de la empresa FEIG Electronic .....	25
Figura 15 – Lector ID ISC.MRU200i de FEIG Electronic .....	28
Figura 16 – Posición de los lectores UHF en el robot Maggie.....	30
Figura 17 – Etiqueta papel Frog EPC C1 Gen2.....	30
Figura 18 – Símbolos PIE .....	32
Figura 19 – Mapa lógico de memoria.....	34
Figura 20 – Asignación de la memoria para etiquetas EPC Clase 1 Gen 2 .....	35
Figura 21 – Arquitectura Automática-Deliberativa .....	38
Figura 22 – Arquitectura del sistema RFID.....	39
Figura 23 – Componentes software para Linux (32-bit x86).....	40
Figura 24 – Estructura interna de la biblioteca FEUSB.....	42
Figura 25 – Estructura interna de la biblioteca FEISC .....	43
Figura 26 – Clases de la biblioteca FEDM.....	44
Figura 27 – Componentes de la clase FEDM_ISCReaderModule .....	45

Figura 28 – Estructura Tdatos_etiqueta para almacenar información de etiquetas HF .....	49
Figura 29 – Estructura Tdatos_etiqueta_uhf para almacenar información de etiquetas UHF ...	49
Figura 30 – Datos que representa el código EPC .....	50
Figura 31 – Esquema de comunicación para la habilidad de lectura RFID.....	51
Figura 32 – Diagrama de flujo para la función proceso() de la habilidad de lectura .....	53
Figura 33 – Diagrama de flujo del algoritmo para evitar lecturas repetidas .....	54
Figura 34 – Diagrama de clases de la habilidad de lectura .....	55
Figura 35 – Esquema de comunicación para la habilidad de escritura RFID.....	56
Figura 36 – Diagrama de flujo para la función proceso() de la habilidad de escritura .....	57
Figura 37 – Diagrama de clases de la habilidad de escritura .....	58
Figura 38 – Posición del lector y etiqueta RFID para la navegación.....	62
Figura 39 – Wizard para la instalación de los driver USB en Windows Vista.....	76
Figura 40 – Último paso en el wizard para la instalación de los driver USB .....	76
Figura 41 – Instalación del software del controlador .....	77
Figura 42 – Paso 1: detección del lector .....	78
Figura 43 – Paso 2: selección del tipo de etiquetas .....	78
Figura 44 – Paso 3: selección del modo del lector .....	79
Figura 45 – Pasos 4, 5 y 6: verificación de los resultados .....	80
Figura 46 – Zonas del programa ISOStart.....	81
Figura 47 – Resultados del comando <i>Inventory</i> .....	82
Figura 48 – Resultados del comando <i>Read</i> .....	83
Figura 49 – Resultados del comando <i>Write</i> .....	84

# Índice de tablas

Tabla 1 – Cuadro comparativo de las tecnologías RFID y código de barras.....	4
Tabla 2 - Cuadro comparativo de las etiquetas activas y pasivas .....	8
Tabla 3 – Bandas de frecuencia permitidas para RFID según regiones .....	14
Tabla 4 – Normas ISO para las bandas de frecuencia RFID .....	16
Tabla 5 – Normas ETSI para las bandas de frecuencia RFID.....	17
Tabla 6 – Clasificación por clases de las etiquetas EPC.....	18
Tabla 7 – Principales características de los lectores HF .....	25
Tabla 8 – Principales características de los lectores UHF.....	28
Tabla 9 – Configuración de los LEDs del lector.....	29
Tabla 10 – Principales características de las etiquetas papel Frog EPC C1 Gen2.....	31
Tabla 11 – Rango de valores para los códigos de error .....	41
Tabla 12 – Versiones de las bibliotecas OBID para los lectores HF y UHF .....	41
Tabla 13 – Tiempos de lectura por bloques y completo .....	60
Tabla 14 – Costes de material (hardware) .....	67
Tabla 15 – Costes material (software) .....	68





# Agradecimientos

En primer lugar, dar las gracias a las dos personas que sin ellas hoy no estaría aquí, mis padres, por todo el cariño, la comprensión y la confianza que han tenido siempre en mí.

A mi hermana, otro de los pilares de mi vida; por ser mi referente y abrirme el paso en el mundo de las telecomunicaciones.

A toda mi familia, por darme ánimo para seguir adelante.

A mis tutores, Miguel Ángel Salichs, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto en el grupo Robotics Lab y permitirme conocer a “Maggie”; a Ana Corrales, por sus consejos y toda la ayuda recibida para la realización de este proyecto.

A los compañeros del laboratorio, siempre dispuestos a ayudar; especialmente a Fernando Alonso, por todas las dudas resueltas.

A todas las personas que he conocido a lo largo de la carrera y que más que compañeros han sido amigos. Aunque se termine esta etapa, sé que podré seguir contando con ellos. En especial dar gracias a Irene, con la que he compartido tantos momentos, incluida nuestra estancia en Dinamarca, y a Rubén, a los que admiro y que han sabido despertar en mí las ganas de querer saber más.

Y, por supuesto, a mis amigos de toda la vida que, a pesar de todo este tiempo, siguen a mi lado. A Graci, María y Eva, por estar siempre ahí y representar todo lo que significa la palabra amistad.

A todos, gracias.



# Resumen

El presente documento describe la implementación de un sistema de identificación por radiofrecuencia RFID en la banda UHF destinado a mejorar las capacidades sensoriales de un robot personal.

El sistema está compuesto por dos lectores RFID con antena integrada colocados a los lados del robot y cuya principal función es dar soporte en tareas de navegación. Para almacenar la información que va a ser leída por estos dispositivos se utilizan etiquetas pasivas del estándar EPC Gen 2.

La integración de este sistema en el robot se realiza mediante la ampliación de las habilidades de lectura y escritura RFID ya desarrolladas para un sistema RFID que trabaja a 13.56 MHz (HF) y cuyo rendimiento es adecuado para llevar a cabo reconocimiento de objetos a muy corta distancia, pero no para tareas de navegación donde se requiere un rango mayor.

Además, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas para verificar el funcionamiento de los lectores y de las habilidades desarrolladas en las que se integran los métodos tanto para los lectores HF como para los lectores UHF.

**Palabras clave:** Identificación por radiofrecuencia (RFID), banda UHF, robot, estándar EPC Gen2.



# Abstract

This paper describes the implementation of an UHF Radio Frequency Identification system in a personal robot used for improving its sensorial capacities.

The system comprises two RFID readers with integrated antenna placed at the robot, whose main function is to support navigation tasks. EPC Gen 2 passive tags are used in order to store the data that will be read by these devices.

The integration of this system in the robot is done by expanding the reading and writing skills developed for RFID systems operating at 13.56 MHz (HF) and whose performance is adequate to carry out object recognition at short range, but not for navigation tasks which require greater distances.

Furthermore, some experimental results are shown to verify right operation of the RFID readers and the skills in which the functions for both HF and UHF readers are integrated.

**Keywords:** Radio Frequency IDentification (RFID), UHF band, robot, EPC Gen2.



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Motivación

En los últimos años, las tecnologías de identificación automática están cobrando gran importancia y son cada vez más numerosas las aplicaciones en las que se utilizan. Un ejemplo de ello son los sistemas de identificación por radiofrecuencia RFID.

Estas tecnologías permiten reducir los tiempos utilizados en la adquisición de datos y además evitan que se tenga que realizar de forma manual, por lo que uno de los sectores más beneficiados por las ventajas que presentan es el sector industrial.

Además, existen otros campos en los que su aplicación está creciendo. Es el caso de la robótica donde son necesarias nuevas formas de interactuar con el robot.

Los sistemas RFID se pueden integrar en robots personales para llevar a cabo tareas relacionadas con la identificación de objetos o como soporte a otros sistemas sensoriales.

El robot Maggie de la Universidad Carlos III de Madrid tiene integrado un sistema RFID en la frecuencia de 13.56 MHz que le permite obtener información de su entorno y mejorar la interacción con él. Este sistema presenta un buen funcionamiento para aplicaciones de reconocimiento de objetos a corta distancia, pero surgen ciertas limitaciones en aquellas donde es importante un rango mayor de lectura, por ejemplo en su uso en las tareas de navegación.

Este proyecto nace de la idea de mejorar y ampliar el sistema RFID del robot para solucionar los problemas que surgen en la navegación.

### 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto consiste en ampliar los sistemas de identificación por radiofrecuencia para el robot personal Maggie. Para ello se deben cumplir los siguientes objetivos más específicos:

- Analizar los problemas que surgen cuando se emplea el sistema RFID en la frecuencia 13.56 MHz para la navegación.

- Estudiar y analizar los lectores disponibles en el mercado que cumplen con los requerimientos software y hardware del sistema.
- Diseñar y desarrollar las funciones para los dispositivos seleccionados.
- Ampliar las habilidades RFID de lectura y escritura implementadas en el robot con el fin de poder utilizarlas con los nuevos lectores.
- Integrar las funciones de ambos tipos de sistema.
- Realizar los menores cambios posibles en las habilidades ya implementadas que utilicen la identificación por radiofrecuencia.
- Realizar pruebas que verifiquen el funcionamiento tanto de los lectores y etiquetas RFID como de las habilidades programadas.

### **1.3 Estructura de la memoria**

La memoria de este proyecto se estructura en los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2 se describe la tecnología RFID en la que se basa este proyecto, los elementos que intervienen y su funcionamiento. Además, se presentan las características de cada banda de frecuencia en la que pueden operar los sistemas RFID y los principales estándares que las regulan. Para finalizar este capítulo se hace una breve introducción a las aplicaciones RFID en el campo de la robótica.
- En el capítulo 3 se presentan las características del sistema RFID en HF con el que ya contaba el robot Maggie antes de realizar este proyecto, se plantean los problemas que surgen con estos dispositivos y se termina describiendo el sistema RFID elegido para solucionarlos.
- En el capítulo 4 se realiza una breve descripción del robot en el que se van a incorporar los lectores RFID y se presenta la arquitectura software de las habilidades implementadas para la lectura y escritura de etiquetas RFID.
- Los resultados de las pruebas realizadas con el sistema RFID para verificar su funcionamiento se muestran en el capítulo 5.
- En el capítulo 6 se recogen las conclusiones y las líneas futuras de trabajo que surgen con este proyecto.
- La estimación de los costes asociados a este proyecto se exponen en el capítulo 7.
- En el capítulo 8 se muestra un glosario con algunas definiciones y acrónimos.



# Capítulo 2

## Tecnología RFID

### 2.1 Introducción

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia RFID, en inglés *Radio Frequency IDentification*, permite identificar automáticamente objetos mediante el uso de ondas de radio sin la necesidad de una línea de visión directa (1). Por ello, se agrupa dentro de las tecnologías de Identificación Automática (Auto-ID), donde se encuentran también el código de barras, la identificación biométrica, el reconocimiento óptico de caracteres (OCR) y las tarjetas inteligentes, como se muestra en la Figura 1 (2).

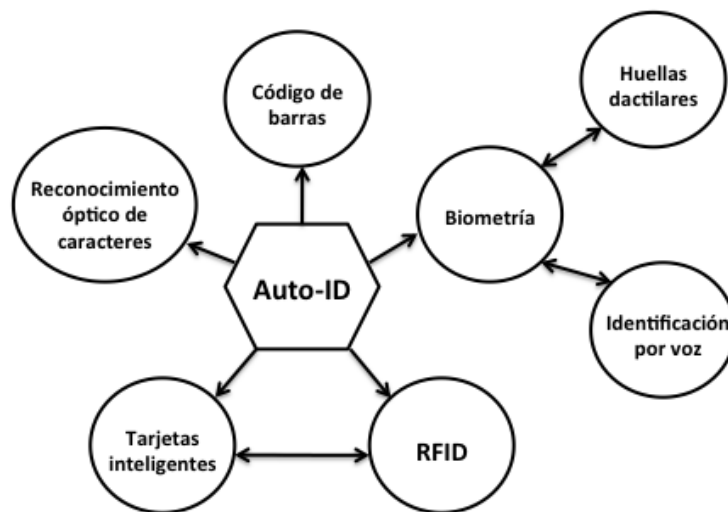


Figura 1 – Perspectiva de las tecnologías de Identificación Automática más importantes

En las últimas décadas, el medio más utilizado para la identificación de objetos ha sido el código de barras. Sin embargo, los sistemas RFID presentan ciertas ventajas sobre éste. En la siguiente tabla se hace una comparación de ambas tecnologías (3).

<b>Característica</b>	<b>RFID</b>	<b>Código de barras</b>
<b>Identificación</b>	Capacidad de identificar cada objeto de forma individual	Identifican cada tipo de producto o marca
<b>Flexibilidad</b>	Legibles sin visibilidad directa (señal de radiofrecuencia)	Imprescindible línea de visión directa para leer el código (señal óptica)
<b>Lectura</b>	Lectura de múltiples etiquetas simultáneamente	Lectura de etiquetas de forma secuencial
<b>Capacidad</b>	Mayor capacidad de almacenamiento de datos	Escasa cantidad de datos
<b>Actualización</b>	Operaciones de lectura y escritura	Imposibilidad de ser modificados o reprogramados
<b>Velocidad</b>	Mejores velocidades de lectura según la frecuencia de operación	Velocidad de lectura mucho más baja
<b>Rango de lectura</b>	Rangos de lectura entre 0-10m dependiendo de la frecuencia utilizada	La máxima distancia de lectura está entre los 0-50cm
<b>Durabilidad</b>	Más resistentes contra el deterioro físico	Menos duraderas
<b>Costes</b>	Los costes son más elevados, dependen del tipo de etiqueta	Más barato
<b>Legibilidad</b>	Ofrecen la información únicamente a través de un lector RFID	Normalmente tienen un formato de legibilidad de caracteres humanos

**Tabla 1 – Cuadro comparativo de las tecnologías RFID y código de barras**

Uno de los principales motivos por los que la penetración de la tecnología RFID en el mercado está siendo más lenta es su coste, relativamente más alto que el del código de barras. Inicialmente no era muy práctico etiquetar objetos en donde el método para identificarlos, por ejemplo una etiqueta RFID, costaba más que el propio objeto.

Sin embargo, en los últimos años el uso del RFID se está extendiendo gracias a los avances en la electrónica y a la reducción de los costes, que hace que nuevas aplicaciones RFID sean viables económicamente.

## 2.2 Historia

La historia de la tecnología RFID comienza durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se usaban las ondas de radio para diferenciar a los aviones enemigos de los del mismo bando (4).

En la década de los 60 se mostró un mayor desarrollo de la tecnología RFID con las primeras aplicaciones comerciales, como los sistemas de vigilancia electrónica de artículos (EAS). Son etiquetas de 1 bit que se colocan en los productos como medida antirrobo. La tecnología EAS se sigue utilizando hoy en día.

Durante los años 70 se llevaron a cabo importantes avances en la investigación sobre el electromagnetismo y la electrónica para RFID.

En la década de los 80 se extendió su uso en aplicaciones comerciales, como la localización de animales en la industria de la ganadería, los dispositivos electrónicos de peaje y el control de acceso personal a edificios. Además, creció el número de compañías fundadas para dar respuesta a la creciente demanda de la tecnología RFID. Todos los sistemas eran propietarios, no había interoperabilidad.

A partir de los años 90, su uso se convirtió en algo común en la vida cotidiana. Se dieron cuenta de las posibilidades que ofrecía esta tecnología y empezaron a aparecer los primeros estándares. En 1999, se fundó el *Auto-ID Center* en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), una organización mundial de investigación con el objeto de construir la próxima generación de códigos de barras (5).

Hoy en día, uno de los principales usos de las etiquetas RFID es el seguimiento de mercancías a lo largo de la cadena de suministro. No obstante, la reducción del tamaño de los circuitos integrados hace que se puedan encontrar en todo tipo de productos, desde joyas hasta prendas de vestir.

A medida que los costes de la tecnología RFID bajen, será posible emplearla en más aplicaciones comerciales, ya que puede solucionar algunos de los problemas ligados a los códigos de barra.

## 2.3 Arquitectura de los sistemas RFID

Los sistemas RFID se componen de unos elementos que presentan diferentes comportamientos dependiendo de la frecuencia en la que trabajen. Por ello, antes de implementar un sistema RFID es necesario analizar las características de cada componente.

### 2.3.1 Componentes y principios de funcionamiento

Los cuatro elementos básicos de un sistema RFID son (3):

- Etiqueta, también llamada tag o transpondedor: es un dispositivo que contiene un microchip donde se almacena la información del objeto, animal o persona que lo lleva incorporado, normalmente un código identificativo. También posee una antena que le permite recibir y responder por radiofrecuencia a las peticiones que le llegan desde el lector RFID.
- Lector: dispositivo electrónico encargado de generar la señal de radiofrecuencia, que se transmite por el aire a través de las antenas, para activar las etiquetas que se encuentren dentro de su rango de lectura. Además es capaz de recibir las respuestas de los tags para así obtener la información contenida en el chip.
- Antenas, que se hallan tanto en los tags como en los lectores y cuya función es transmitir las señales de radiofrecuencia entre los dispositivos.
- Un sistema que se ocupa de gestionar la información.

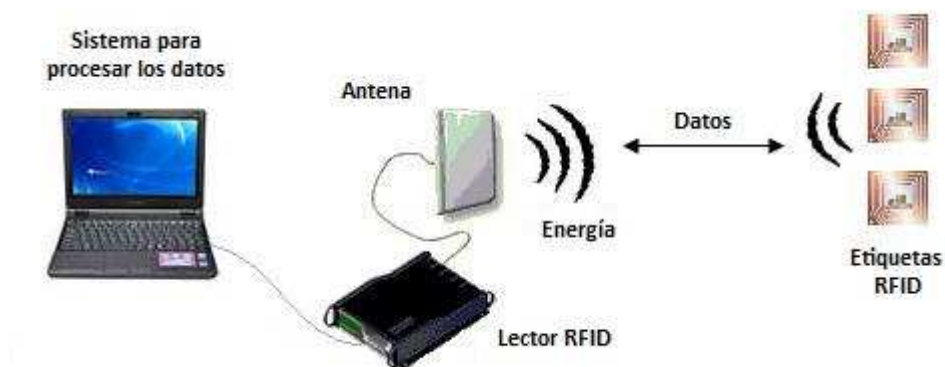


Figura 2 – Elementos de un sistema RFID

El funcionamiento básico de un sistema RFID es el siguiente:

1. El lector RFID emite una señal modulada por medio de su antena para que las etiquetas que se encuentren dentro de su rango de lectura se activen y le envíen la información contenida en su memoria.
2. Los tags reciben la señal y la demodulan. Para ello necesitan un chip que se alimenta, en el caso de etiquetas pasivas, con la energía que viaja en una onda continua de radiofrecuencia que es transmitida por el lector.
3. Las etiquetas, utilizando la energía almacenada, envían el código que las identifica hacia el lector.

4. El lector convierte las ondas de radio en información digital para poder pasarla al sistema al cual esté conectado el lector, generalmente un ordenador.
5. El ordenador gestiona, almacena e interpreta los datos recibidos.

### 2.3.2 Etiquetas

Se denominan también tags o incluso transpondedores por su capacidad de recibir y transmitir señales, aunque sólo transmiten cuando reciben una petición por parte del lector (6).

La etiqueta es el elemento del sistema RFID que almacena el código que identifica al objeto en el que se encuentra adherida. Esta información es transmitida al lector mediante ondas de radio a través de una pequeña antena que contiene el tag. El principal elemento que limita el tamaño de la etiqueta es su antena.

El circuito integrado que se encuentra en el chip es el encargado de la conversión de energía, el control lógico, el almacenamiento y recuperación de datos y la modulación requerida para devolver los datos al lector (3).

Las etiquetas presentan características muy diferentes que afectan a su modo de trabajo. Por este motivo se realizan diversas clasificaciones:

#### 1. Por su tipo de alimentación

- **Pasivas:** no poseen fuente de alimentación propia, obteniendo la energía, que necesitan para alimentar su electrónica y generar y transmitir la información, de la señal que reciben del lector. Son más económicas, de menor tamaño y con un ciclo de vida ilimitado. Sin embargo, su principal desventaja es la limitación en el rango de lectura: no suelen alcanzar más de 10 metros.

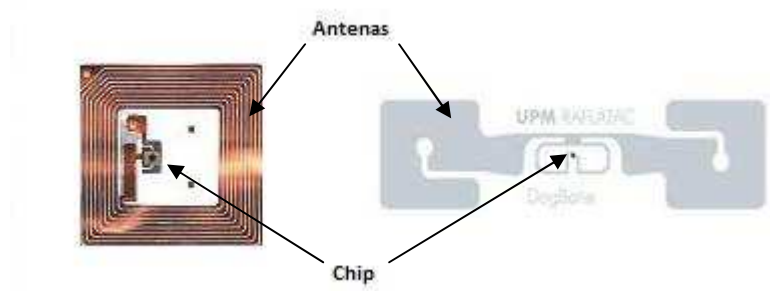


Figura 3 – Etiquetas pasivas

- **Activas:** a diferencia de las pasivas, éstas cuentan con batería propia para alimentar sus circuitos y para llevar a cabo la comunicación con el lector. Esto le permite no depender de la potencia de la señal que recibe. De esta forma se consiguen mejores rangos de lectura (hasta 100 metros). También poseen mayor capacidad de almacenamiento.

Algunos incluyen sensores de temperatura o de humedad para percibir cambios en las condiciones ambientales que le rodean.

Los principales inconvenientes de este tipo son que poseen un ciclo de vida limitado a la duración de la batería, un coste más elevado y mayor tamaño.



Figura 4 – Ejemplos de tags activos de la empresa Kimaldi

- **Semiactivas o semipasivas:** poseen fuente de alimentación propia, pero sólo la utilizan para alimentar los circuitos. La energía para mandar la información la toman de la señal procedente del lector. Al contar con una batería, son más caras que las pasivas pero proporcionan mayores rangos de lectura.

En el siguiente cuadro se resumen las principales características:

	<i><b>Activas</b></i>	<i><b>Pasivas</b></i>
<b>Batería</b>	Sí	No
<b>Coste</b>	Mayor	Menor
<b>Tiempo de vida</b>	Limitado	Ilimitado
<b>Cobertura</b>	Mayor	Menor
<b>Capacidad de datos</b>	Mayor	Menor

Tabla 2 - Cuadro comparativo de las etiquetas activas y pasivas

## 2. Por su capacidad de programación

Dependiendo del tipo de memoria de la que disponga el tag, se pueden encontrar:

- **De sólo lectura** (RO, *Read Only*): las etiquetas se programan durante su fabricación y no pueden ser reprogramadas, por lo que el usuario no tiene ningún control sobre ellas.
- **De una escritura y múltiples lecturas** (WORM, *Write Once Read Many*): las etiquetas permiten una única reprogramación. Sin embargo, en la práctica hay algunos tipos de etiquetas WORM en los que es posible sobrescribir los datos varias veces.
- **De lectura/escritura** (R/W, *Read/Write*): estos tags proporcionan las opciones de añadir información a la memoria de la etiqueta o sobrescribir la existente un gran número de veces.

### 3. Por su capacidad de almacenamiento de datos

Los tags también pueden ser clasificados según la capacidad de su memoria. Hay algunos que sólo guardan 1 bit de información, como el caso de las etiquetas EAS que se utilizan en las tiendas para soluciones antirrobo, y otros que cuentan con kilobytes de datos para almacenar identificadores y datos complementarios.

Las etiquetas del estándar EPC (se explicará más adelante, en el apartado 2.5.3) suelen contar únicamente con 96 bits de información para codificar el número único que las identifica. Este tamaño es adecuado para poder diferenciarlo de otros tags, pero insuficiente en el caso de que se espere almacenar información literal. Actualmente también hay disponibles en el mercado tags con otro banco de memoria reservado para grabar información adicional en el caso de necesitarlo (3).

A la hora de elegir una etiqueta, se ha de tener en cuenta que a mayor capacidad, mayor es el coste. Por tanto, habrá que analizar la aplicación y llegar a un compromiso entre estas dos características.

### 4. Por el principio de propagación

- **Inductivos**: a frecuencias bajas del espectro de radiofrecuencia (LF, *Low Frequency*, y HF, *High Frequency*), el acoplamiento de las etiquetas es inductivo. Las antenas son bobinas y el principio de funcionamiento es el mismo que en los transformadores. Utilizan el campo magnético creado por la antena del lector para alimentar la etiqueta. Operan en el campo cercano.
- **Propagación de ondas electromagnéticas**: utilizan la propagación de la onda electromagnética para alimentar la etiqueta. Operan en el campo lejano y a muy altas frecuencias (UHF, *Ultra High Frequency*, y microondas).

Además de las clasificaciones que se acaban de ver, existen en el mercado etiquetas de diferentes formas y tamaños y con encapsulados de distintos tipos de material como plástico, cerámica, cristal o láminas de papel, para poder seleccionar la más adecuada según el entorno en el que se utilicen.



**Figura 5 – Tags RFID de diferentes formas y tamaños**

### **2.3.3 Lector**

Es básicamente un transmisor y receptor de radiofrecuencias que, mediante una antena, transmite las ondas de radio para activar las etiquetas que estén dentro de su rango de cobertura y recibe la información que éstas le envíen. Las respuestas obtenidas se pasan a un sistema de procesamiento de datos a través de una interfaz estándar de comunicación, como por ejemplo, RS-232, Ethernet o USB.

Además de la capacidad de leer etiquetas, algunos lectores pueden escribir información en aquellos tags que son de lectura y escritura.

Los lectores también presentan diferentes clasificaciones:

- Simples: soportan un solo estándar y operan en una frecuencia.
- Multifrecuencia: trabajan a diferentes frecuencias.
- Multiprotocolo: soportan varios protocolos (ISO, EPC, propietarios).
- Fijos, que suelen utilizarse en puntos fijos de lectura como cintas de transporte o muelles de almacén; y móviles, que facilitan la lectura de etiquetas de difícil acceso.





**Figura 6 – Lectores fijo y móvil de la empresa Motorola**

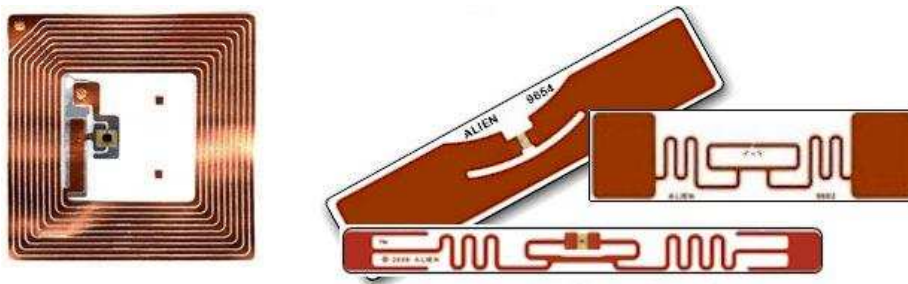
### 2.3.4 Antenas

La forma y las características de las antenas dependen de la banda de frecuencia en la que funcionen.

Las antenas que incorporan las etiquetas para captar energía de la señal del lector y transmitir los datos almacenados en la memoria del microchip pueden ser de dos tipos:

- Un elemento inductivo (bobina). Se utiliza principalmente en las etiquetas de las bandas de baja y alta frecuencia del espectro de radiofrecuencia.
- Un dipolo que puede tener multitud de formas. Se emplea en los sistemas UHF y microondas.

En la Figura 7 se muestra a la izquierda una etiqueta cuya antena es una bobina, mientras que a la derecha las antenas son dipolos que presentan diferentes diseños.



**Figura 7 – Tags RFID con distintos tipos de antena**

Las antenas del lector también están disponibles en una gran variedad de formas y tamaños.

Cada lector puede estar conectado a una o más antenas. Es posible encontrar lectores con la antena integrada en su propio hardware y lectores con antenas externas (6).

En las antenas, no sólo hay que considerar la frecuencia de operación a la que trabajan, sino también otras características como la ganancia, la máxima potencia permitida y la polarización.

Como la potencia que llega a la etiqueta depende de la potencia transmitida por el lector y el nivel de ésta viene limitado por las regulaciones de los gobiernos, es necesario conocer las orientaciones relativas de las antenas de ambos dispositivos para conseguir la máxima potencia recibida. La polarización de las antenas es otro factor que influye en la cantidad de potencia disponible en el tag.

Las antenas con polarización lineal suelen presentar mejores rangos de lectura, pero son más sensibles a la orientación de los tags. Se usan cuando la aplicación requiere la máxima distancia posible y además la orientación de las etiquetas es fija.

Sin embargo, las antenas con polarización circular presentan mayor tolerancia a distintas orientaciones de las etiquetas. Esto tiene un coste en términos del rango de lectura, ya que se ve reducido. Se emplean en aplicaciones donde la orientación de las etiquetas no está controlada.

En los sistemas RFID normalmente se opta por tener una antena polarizada circularmente en el lector y un dipolo con polarización lineal en la etiqueta.

### 2.3.5 Sistema de gestión de la información

El lector RFID se conecta generalmente a un ordenador que se utiliza como sistema de gestión de información para recuperar, almacenar y procesar los datos obtenidos por el lector.

## 2.4 Frecuencias de operación

Los sistemas RFID trabajan en diferentes bandas de frecuencias. Cada una presenta unas ventajas y desventajas con respecto a las demás, ya que las ondas de radio tienen un comportamiento diferente según la frecuencia. Por lo tanto, es necesario analizar los requisitos de la aplicación para determinar qué banda se adapta mejor a las condiciones que se plantean.

Existen cuatro posibles bandas de funcionamiento, como se muestra en la Figura 8 (1):

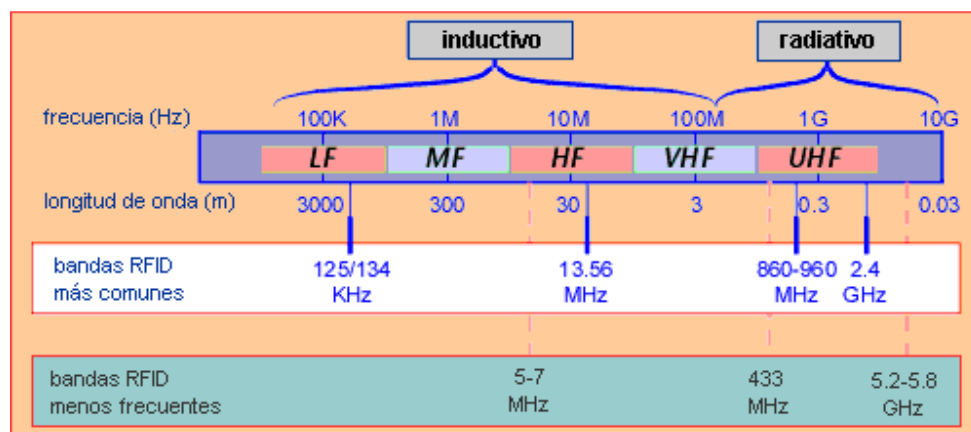


Figura 8 – Bandas de frecuencia RFID

### **2.4.1 Banda de Baja Frecuencia (LF)**

Los sistemas RFID que pertenecen a esta banda trabajan normalmente a 125KHz y 134KHz. Estas frecuencias se utilizan en todo el mundo y no tienen ninguna restricción.

Utilizan para su funcionamiento el acoplamiento inductivo, lo que hace que su rango máximo de lectura no supere los 50 cm (7).

Su velocidad de comunicación es baja. Cuanto más baja es la frecuencia, más lenta es la transferencia de datos.

Son los sistemas menos susceptibles a la presencia de líquidos y metales, pero presentan algunas limitaciones debido a las interferencias a bajas frecuencias que hay en entornos industriales.

Las etiquetas de baja frecuencia suelen ser más caras que las de frecuencias superiores.

Se utiliza principalmente en tarjetas para control de acceso, para la identificación de animales y en cualquier aplicación donde se requiera leer pocos datos y a pequeñas distancias.

### **2.4.2 Banda de Alta Frecuencia (HF)**

En esta banda los sistemas RFID funcionan a 13.56 MHz y es una frecuencia aceptada globalmente.

Suelen utilizar etiquetas pasivas cuyo principio de funcionamiento también se basa en el acoplamiento inductivo. Su rango máximo de lectura es de aproximadamente 1 metro (7).

Su velocidad de transferencia de datos es aceptable para aquellas aplicaciones en las que esta característica no es un factor crítico.

Ofrecen buena capacidad de lectura en entornos hostiles, como líquidos, aunque se ven más afectadas por los metales en comparación con las de baja frecuencia.

Estas etiquetas presentan ciertas ventajas sobre los tags en LF, como unos costes más bajos y la capacidad de leer varias etiquetas a la vez.

Existe una gran variedad de aplicaciones donde la utilización de estas etiquetas es más frecuente: desde el control de acceso, inventario en bibliotecas, identificación de pacientes en sistemas hospitalarios, hasta la captura de datos y pago con el móvil mediante la tecnología NFC (*Near Field Communication*).

### **2.4.3 Banda de Ultra Alta Frecuencia (UHF)**

Trabajan normalmente entre 860 y 960 MHz, aunque también hay algunos sistemas que trabajan a 433 MHz con etiquetas activas. La frecuencia de 2.4 GHz también pertenece a la

banda UHF, puesto que ésta llega hasta los 3 GHz, pero se explica dentro del apartado de microondas.

Basan su funcionamiento en la propagación de ondas electromagnéticas para enviar la información y para alimentar las etiquetas. Utilizan el principio de *backscatter*, que es la misma técnica que se usa en los radares; los tags se comunican con el lector modulando la señal recibida y enviándola de vuelta al lector.

Su rango máximo de lectura es de hasta 10 metros con etiquetas pasivas. En general suele estar entre 3-6 metros y se consigue más de 10 metros con tags activos.

Su velocidad de comunicación es elevada: a mayor frecuencia, mayor velocidad.

En UHF, los objetos metálicos reflejan las ondas, mientras que los materiales líquidos las absorben. Estos efectos han de considerarse a la hora de etiquetar un producto. También hay que tener en cuenta las posibles interferencias provocadas por otros sistemas UHF que se encuentren en las proximidades.

Uno de los principales inconvenientes que impide la expansión de los sistemas RFID en UHF es la falta de estándares aceptados globalmente. Cada región asigna unas frecuencias y legisla esta banda con distintas limitaciones.

ISO y EPCglobal son los principales organismos que trabajan para elaborar normas y especificaciones para los sistemas RFID en UHF (véase apartado 2.5).

En la siguiente tabla se muestran las bandas de frecuencias reservadas para los sistemas RFID en algunas regiones del mundo.

<b><i>Región</i></b>	<b><i>Banda de frecuencias</i></b>
<b>Europa</b>	865-868 MHz
<b>Estados Unidos</b>	902-928 MHz
<b>Japón</b>	952-954 MHz
<b>Australia</b>	918-926 MHz

**Tabla 3 – Bandas de frecuencia permitidas para RFID según regiones**

En cuanto a los costes, las etiquetas pueden ser más económicas que las de frecuencias más bajas si se compran en grandes cantidades. Además, la mayoría no tiene memoria de usuario y sólo almacenan los 96 bits del identificador, lo que hace que se reduzca el precio.

La utilización más frecuente se halla en la gestión de la cadena de suministro, en la identificación y seguimiento de artículos y en el control de equipajes. En general, en aquellas

aplicaciones que requieran distancias mayores que las que proporcionan las bandas anteriores.

#### **2.4.4 Microondas**

Los sistemas que trabajan en las frecuencias de microondas lo hacen a 2.4 GHz y 5.8 GHz.

Presentan características parecidas a la banda UHF pero, al ser frecuencias superiores, la velocidad de transmisión de datos es mayor.

Como desventaja se encuentra que son las que presentan peor rendimiento en presencia de metales y líquidos.

En estas frecuencias también se utilizan tags activos y una de sus aplicaciones principales es el sistema de pago de peajes en autopistas.

### **2.5 Estándares RFID**

Al igual que en otras tecnologías, son fundamentales unos estándares que garanticen la interoperabilidad de los dispositivos haciendo posible que lectores y etiquetas RFID de diferentes fabricantes puedan comunicarse sin problemas (6).

Estos estándares deben cubrir dos temas esenciales:

- La interfaz aérea, es decir, describir el modo y la forma en que se comunican el lector y el tag.
- Definir la estructura de datos intercambiados entre ambos dispositivos.

Además, son necesarias una serie de normativas que regulen las emisiones radioeléctricas y el uso del espectro.

Hay una gran variedad de estándares que se corresponden con cada una de las bandas de trabajo de los sistemas RFID, puesto que, como se ha visto antes, presentan características diferentes.

Son varias las organizaciones que participan en la elaboración de estos estándares y normas. Las tres principales son: ISO (*International Organization for Standardization*), ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) y EPCglobal.

#### **2.5.1 Normas ISO**

La Organización Internacional de Normalización promueve el desarrollo de normas a nivel internacional.

Para los sistemas RFID, las principales normas donde se describen los protocolos de comunicación para cada frecuencia son (8):

<b><i>Estándar</i></b>	<b><i>Sistemas RFID</i></b>
<b>ISO 11784 y 11785</b>	Identificación de animales a < 135 KHz.
<b>ISO 14443</b>	Tarjetas sin contacto a menos de 10 cm a 13.56 MHz.
<b>ISO 15693</b>	Tarjetas sin contacto a más de 10 cm a 13.56 MHz.
<b>ISO 18000-1</b>	Parámetros genéricos para la interfaz aérea.
<b>ISO 18000-2</b>	Parámetros para la interfaz aérea a <135 KHz.
<b>ISO 18000-3</b>	Parámetros para la interfaz aérea a 13.56 MHz.
<b>ISO 18000-4</b>	Parámetros para la interfaz aérea a 2.45 GHz.
<b>ISO 18000-5</b>	Parámetros para la interfaz aérea a 5.8 GHz.
<b>ISO 18000-6(A,B)</b>	Parámetros para la interfaz aérea entre 860-960 MHz.
<b>ISO 18000-6C</b>	Parámetros para la interfaz aérea en Gen2.
<b>ISO 18000-7</b>	Parámetros para la interfaz aérea a 433 MHz (activa).

**Tabla 4 – Normas ISO para las bandas de frecuencia RFID**

### **2.5.2 Normas ETSI**

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI por sus siglas en inglés), es una organización encargada de producir normas para la industria de las telecomunicaciones a nivel mundial.

Las normas desarrolladas para los sistemas RFID son (8):

<b><i>Normativa</i></b>	<b><i>Frecuencia</i></b>
<b>EN 302 208</b>	865-868 MHz
<b>EN 300 330</b>	9 KHz – 30 MHz
<b>EN 300 220</b>	433 MHz (activa)
<b>EN 300 440</b>	2.45 GHz

**Tabla 5 – Normas ETSI para las bandas de frecuencia RFID**

### **2.5.3 Estándar EPC**

El desarrollo de normas para los sistemas en UHF comenzó en el año 1999 con la creación del Auto-ID Center, una organización mundial de investigación ubicada en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). Su objetivo era crear un estándar que fuera global, ya que para identificar un producto en Europa se debía utilizar el código EAN (*European Article Number*) y en América el código UPC (*Universal Product Code*).

En 2003 el Auto-ID Center se dividió en dos organizaciones, por un lado Auto-ID Labs y por otro lado el UCC (*Uniform Code Council*). Entonces surgió EPCglobal, una empresa conjunta entre GS1 (antes *EAN International*) y GS1 EE.UU (antes UCC) (9).

#### **→ Código EPC**

El Código Electrónico de Producto, EPC, es un código único que se utiliza en la identificación y seguimiento de mercancías en la cadena de suministro, asociando a cada objeto y de forma inequívoca un código numérico. Dicho número se almacena en el microchip de una etiqueta RFID y con él se puede acceder a una base de datos donde hay guardada información complementaria del producto.

El código EPC suele ser de 96 bits ya que, al tener menos memoria, el coste del tag es menor y es suficiente para asegurar que cada objeto tenga un número de identificación único.

El formato general para los datos de la etiqueta EPC incluyen las siguientes secciones (9):

- Encabezado (8 bits): identifica la versión numérica del código, lo que permite diferentes longitudes o tipos de EPC en el futuro.
- Administrador EPC (28 bits): identifica una empresa, normalmente el fabricante, que es responsable de mantener la clase de objeto y el número de serie.
- Clase de objeto (24 bits): se refiere al tipo exacto de producto.

- Número de serie (36 bits): representa un único identificador para el ítem dentro de cada clase de objeto.

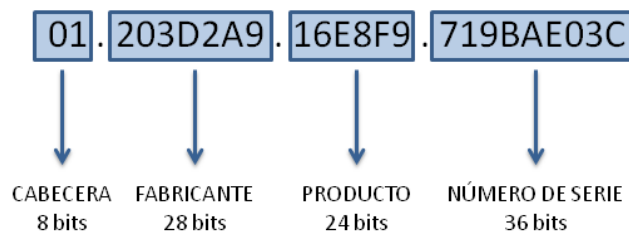


Figura 9 – Código EPC versión 96 bits

### → EPCglobal

EPCglobal se encarga de supervisar el código EPC (considerado como la próxima generación de códigos de barras), de desarrollar los estándares globales y de impulsar la implementación de la Red EPCglobal.

EPCglobal hace una clasificación de los tags por clases según su capacidad de lectura y escritura (10).

<b>Clase EPC</b>	<b>Definición</b>
<b>Clase 0</b>	De sólo lectura.
<b>Clase 0+</b>	De una única escritura y varias lecturas (WORM).
<b>Clase 1</b>	Generación 1: de una escritura y varias lecturas (WORM). Generación 2: de varias lecturas y escrituras (WORM).
<b>Clase 2</b>	De lectura y escritura con más capacidad de memoria.
<b>Clase 3</b>	De lectura y escritura que poseen baterías para alimentar sus circuitos (semipasivas).
<b>Clase 4</b>	Activas.
<b>Clase 5</b>	Activas con la habilidad de comunicarse con otros dispositivos y con otras etiquetas. Los lectores RFID se encuentran dentro de esta categoría.

Tabla 6 – Clasificación por clases de las etiquetas EPC



- **Generación 1:**

Las especificaciones de la Clase 0 y Clase 1 fueron desarrolladas en lo que EPCglobal ha llamado Generación 1, conocida como Gen 1.

La Clase 0 fue definida por EPCglobal como un dispositivo de sólo lectura, mientras que la Clase 1 se definió como etiquetas que son de varias lecturas y una sola escritura, aunque en la práctica son reprogramables.

Estas clases no eran compatibles entre sí, pero tampoco lo eran con los estándares ISO.

- **Generación 2:**

La Generación 2, también llamada Gen 2 o C1G2 (Clase 1 Generación 2) surgió como respuesta a las limitaciones que presentaba la Gen 1.

Este estándar fue aprobado en Diciembre de 2004. Dos años después, la ISO lo aprobó y adoptó como la norma ISO 18000-6C. Se desarrolló con el objetivo de unificar los estándares existentes para la banda UHF: EPC Clase 0, EPC Clase 1 e ISO 18000-6, partes A y B (11).

Algunas de las mejoras que ofrece con respecto a la Gen 1:

- ✓ Estándar global: proporciona frecuencias para uso mundial.
- ✓ Memoria: está diseñado para soportar códigos EPC de hasta 256 bits.
- ✓ Implementa un modo de lectura para reducir la interferencia entre los lectores, lo que se conoce como "*Dense Reader Mode*".
- ✓ Seguridad: incorpora una contraseña encriptada de 32 bits y permite inactivar un tag permanentemente.

→ **La Red EPCglobal**

La Red EPCglobal es una estructura que permite la identificación automática y el seguimiento de los productos en la cadena de abastecimiento. Para llevarlo a cabo combina la tecnología RFID con las redes de comunicaciones y el código EPC.

Está formada por seis elementos:

- Códigos EPC, que identifican a cada artículo de forma individual.
- Etiquetas EPC, donde se almacenan el código electrónico único.
- Lectores EPC, son lectores RFID que activan las etiquetas que se encuentran cerca y recogen la respuesta de éstas.

- Software personalizado EPC (*EPC Middleware*), que gestiona los EPC identificados por el lector y comunica los sistemas de información de las compañías con los servicios de información EPC.
- Servicios de información EPC (*EPC IS*), que permiten a los socios comerciales intercambiar la información incluida en el EPC.
- Servicios de descubrimiento (*Discovery Services*) que permiten a los usuarios encontrar datos relacionados con un determinado EPC.

El objetivo de la Red EPCglobal es que en las etiquetas EPC sólo esté almacenado el código único y que la información relacionada con el objeto al que identifica esté en la base de datos. Esto posibilita a las compañías que forman parte de esta red compartir información de sus productos en tiempo real y a través de la red.

## 2.6 Aplicaciones RFID en el campo de la Robótica

Hemos visto a lo largo del capítulo la variedad de aplicaciones en las que se puede emplear la tecnología RFID: desde el rastreo de animales, el acceso controlado a edificios, etiquetado de medicinas en la industria farmacéutica y de libros en bibliotecas en las bandas de baja y alta frecuencia, hasta el control de equipaje en aeropuertos, sistemas de telepeaje y seguimiento de artículos a lo largo de la cadena de suministro en UHF y microondas.

Debido a las características que presenta esta tecnología, puede dar beneficios en muchos sectores de actividad. Uno de ellos es el de la robótica, empleándose en las aéreas de la robótica industrial y de la robótica asistencial o de servicios como en robots en hospitales, en museos y centros de ocio (12).

Los sistemas RFID aportan a los robots una nueva forma de percepción de su entorno, mejorando la interacción con el mismo y sirviendo de soporte a otros sistemas sensoriales (13).

Las principales aplicaciones de esta tecnología en la robótica asistencial son:

- Reconocimiento de objetos.
- Navegación en robots móviles.

Para la navegación se suelen emplear etiquetas activas ya que presentan mayor alcance e inmunidad frente a interferencias. Sin embargo, los tags pasivos también son muy utilizados debido a su bajo coste, combinándose su uso con el de otros sensores o tecnologías como los ultrasonidos y los láseres.

En la Figura 10 se muestran dos ejemplos de robots de servicio que utilizan la tecnología RFID para llevar a cabo sus funciones.



**Figura 10 – Ejemplos de robots de servicio con tecnología RFID**

El robot de la izquierda es Yumbo, un robot desarrollado por CT Asia y que se utiliza en Tailandia como camarero en el restaurante MK, atendiendo a las peticiones de los clientes y sirviendo los platos. Se desplaza siguiendo las líneas del suelo y para evitar chocarse cuenta con un sensor de ultrasonidos. Las etiquetas RFID sirven para registrar los gustos de los clientes (14).

El robot de la derecha permite pagar con el teléfono móvil gracias a la tecnología RFID. El usuario selecciona el icono correspondiente en la pantalla táctil del robot y realiza el pago acercando su teléfono móvil al lector RFID que se encuentra en la mano izquierda del robot, como se puede ver en la Figura 10 (15).

Existen robots móviles que emplean la tecnología RFID como soporte en la navegación. Por ejemplo, Tmsuk y NTT Communications desarrollaron en Japón robots para la navegación en centros comerciales. El objetivo de este proyecto consistía en evaluar la utilización de robots, etiquetas RFID y redes IPv6. Estos robots, que se presentan en la Figura 11, tenían propósitos diferentes. El de color naranja se utilizaba como asistente de compras y era controlado remotamente, mientras que el azul era el que acompañaba a los usuarios por las tiendas.

La navegación se realizaba colocando etiquetas EPC incrustadas en el suelo del centro comercial. El lector del robot leía el código EPC de los tags y con ello obtenía la información de la posición a través de la red.



**Figura 11 – Ejemplo de robots móviles con tecnología RFID**

Otro ejemplo de robots que emplean los sistemas RFID para mejorar la localización de los robots y de las personas en su entorno, es el Pioneer 2, equipado con dos antenas RFID y un sensor láser. Se utiliza para estudiar un modelo de medidas probabilísticas con el que se localizan eficazmente etiquetas RFID en el entorno (16).



**Figura 12 – Robot Pioneer 2 con lectores RFID para navegación**

# Capítulo 3

## Sistemas RFID en el Robot Maggie

### 3.1 Introducción

Maggie es un robot personal desarrollado por el grupo Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid con el objetivo de estudiar la interacción humano-robot, la autonomía e inteligencia en los robots (17).

Este robot móvil posee dispositivos hardware y componentes software que le permiten interactuar con el entorno y las personas que lo rodean.

Entre estos elementos se encuentra un sistema RFID que opera en la frecuencia de 13.56 MHz (banda HF). Consta de dos lectores situados uno en la cabeza y otro en la base del robot que se utilizan con fines distintos.

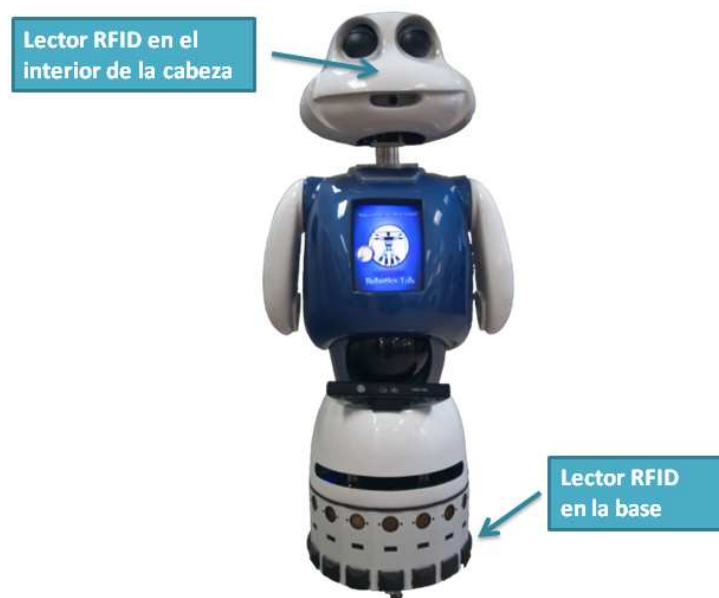


Figura 13 – Sistema RFID HF en el robot Maggie

El lector de la cabeza facilita las tareas de interacción humano-robot mediante el reconocimiento de objetos. Para ello, hay implementadas lo que se conoce en la arquitectura

del robot como *habilidades* que, en términos generales, es la capacidad del robot de llevar a cabo una acción (el concepto de *habilidad* se explicará con más detalle en el Capítulo 4).

- Una de estas habilidades es el reconocimiento de medicinas para ayudar a personas mayores o visualmente discapacitadas. Acercando al robot una etiqueta RFID colocada en el interior de la caja de una medicina, éste lee el código que la identifica gracias al lector, obtiene información sobre ella como el nombre del fármaco o para qué sirve y se la comunica al usuario (13).
- También se emplea en juegos desarrollados en Maggie, como el reconocimiento de animales de peluche. Es un *quiz* para niños en el que hay unos animales de peluche con etiquetas en su interior y el robot va realizando una serie de preguntas acerca de alguna característica de los mismos. El niño tiene que acercar el peluche correspondiente contabilizándose el número de respuestas acertadas y falladas. Esto posibilita poder observar y analizar el comportamiento de los niños ante un robot (18).

El lector de la base se destina a tareas de navegación en entornos interiores mediante la implementación de un sistema de señalización (19). El objetivo de este sistema es orientar e informar al robot para que pueda llegar a su lugar de destino. Para ello se necesita cierta información del entorno, como:

- Saber el lugar en el que se encuentra.
- Saber los lugares a los que se puede ir desde la ubicación actual.
- Saber cómo llegar a esos lugares.

Esta información es almacenada en etiquetas RFID que se sitúan en puntos del entorno donde el robot pueda leerlas.

Además, son necesarios otros dispositivos que sirvan de soporte a la navegación, como un sensor láser para evitar los obstáculos que pueda haber en el camino.

En este capítulo se plantean los problemas encontrados en la utilización del sistema RFID en HF para la navegación y el sistema que se propone para solucionarlos.

## 3.2 Sistema RFID en HF

Como se ha mencionado en la introducción de este capítulo, Maggie tiene implementado un sistema RFID en la banda HF para llevar a cabo las tareas de navegación y reconocimiento de objetos a corta distancia.

Los lectores adquiridos para esta frecuencia son de la empresa FEIG Electronic y sus principales características técnicas se sintetizan en el siguiente cuadro (13):

<b>Modelo</b>	ISC.MR101-USB con antena integrada
<b>Frecuencia</b>	13.56 MHz
<b>Rango de lectura</b>	Hasta 18 cm
<b>Dimensiones</b>	145x85x31mm
<b>Tags soportados</b>	ISO 15693, I-Code y Tag-it HF
<b>Tipo de etiquetas</b>	Pasivas
<b>Interfaz de comunicación</b>	USB

**Tabla 7 – Principales características de los lectores HF**

Son lectores que cuentan con una antena integrada y con unas dimensiones adecuadas para su incorporación al robot.



**Figura 14 – Lector RFID HF de la empresa FEIG Electronic**

Junto a estos dispositivos se proporcionan los drivers y bibliotecas necesarios para poder programar en entornos Linux y en un lenguaje de programación orientado a objetos.

En cuanto a las etiquetas adquiridas para llevar a cabo tanto las habilidades de reconocimiento de objetos como la de navegación, son tags pasivos del estándar ISO 15693 y trabajan en la banda HF. Poseen una capacidad de memoria de 1024 bytes.

### 3.3 Análisis de requisitos

Uno de los motivos que ha impulsado a desarrollar este proyecto ha sido el escaso rango de lectura (hasta 18 cm) que ofrecen los lectores HF que posee Maggie y que dificulta las tareas de navegación.

Debido a la poca distancia a la que puede leer el lector situado en la base, es necesario distribuir las etiquetas RFID en el suelo siendo leídas cuando el robot pasa exactamente por encima de ellas. Para mejorar la lectura, se colocan cuatro etiquetas en línea con la misma información almacenada. De esta forma es más probable que durante la navegación el robot lea alguna de ellas sin tener que ser tan preciso en su movimiento.

Sin embargo, este planteamiento presenta un inconveniente en el caso de necesitar escribir o modificar la información contenida en los tags para el sistema de señalización. Podría ocurrir que de las cuatro etiquetas el robot sólo detectara una de ellas, en la que la información quedaría modificada, pero en el resto no (19).

Estas limitaciones hacen que sea necesario buscar otro tipo de dispositivos RFID que tengan mejores prestaciones. El principal factor que va a influir en la elección de los nuevos lectores y etiquetas es el rango de lectura que pueden ofrecer, aunque también tendrá un peso importante en la decisión el hecho de que se necesitan unos lectores cuyo software pueda integrarse perfectamente con la arquitectura desarrollada en Maggie.

#### 3.3.1 Requerimientos de Hardware

Como se ha expuesto en el Capítulo 2, la frecuencia de operación juega un papel muy importante en los sistemas RFID, ya que va a determinar sus características: rangos de lectura, velocidad de transmisión de datos, tamaño de las antenas y costes, entre otros.

De las cuatro bandas de frecuencia destinadas para aplicaciones RFID, las de baja y alta frecuencia presentan unas distancias de lectura muy limitadas. Éstas son suficientes para llevar a cabo la identificación de objetos a corta distancia, como en el caso de reconocimiento de medicinas. Sin embargo, no son apropiadas para desarrollar otras tareas, como las de navegación.

En la banda de microondas se alcanzan grandes rangos de lectura con el uso de etiquetas activas. El principal inconveniente es el coste y el tamaño que tienen estos tags, que se incrementa por la batería que llevan incorporada.

En los últimos años, el número de aplicaciones que utilizan sistemas en la banda UHF se ha incrementado considerablemente gracias a las ventajas que ofrece con respecto a otras frecuencias y a la estandarización desarrollada por EPCglobal y la ISO. Por ello, se optó por buscar lectores y etiquetas en esta banda.

En la elección de los lectores también hay que tener en cuenta el tamaño de los mismos, ya que van a ir incorporados en el robot.



Por tanto, tras analizar algunos lectores del mercado de empresas como Kimaldi y FQ Ingeniería, se escogió esta última que es la empresa donde se adquirieron los lectores RFID en HF fabricados por FEIG Electronic.

En cuanto a las etiquetas, se prefirió seguir utilizando tags pasivos con los que se consigue un compromiso entre rango de lectura deseado y costes. Además, al carecer de baterías, su tiempo de vida es ilimitado.

### **3.3.2 Requerimientos de Software**

El robot Maggie tiene implementadas dos habilidades RFID para la lectura y escritura de etiquetas a 13.56 MHz. Éstas son las encargadas de obtener y escribir los datos de los tags para después ponerlos a disposición de otras habilidades que los necesiten, como la habilidad de reconocimiento de medicinas o la de navegación.

Es necesario ampliar estas habilidades RFID para que se puedan emplear tanto con los lectores HF como con los de UHF.

La habilidad de escritura se usará sólo cuando sea necesario escribir o modificar algún tipo de información en las etiquetas.

La habilidad de lectura es la que se encargará de leer los datos de las etiquetas que se encuentren dentro del rango de cobertura del lector y de avisar al resto de habilidades de que los datos están disponibles.

Al pertenecer los nuevos lectores a la misma empresa que los que funcionan en HF, la integración de ambas tecnologías es más sencilla puesto que necesitan las mismas bibliotecas: las bibliotecas de la familia de lectores OBID. El único inconveniente es que las bibliotecas de los lectores antiguos no soportan los nuevos lectores, pero basta con instalar las nuevas versiones que son compatibles para los dos tipos.

## **3.4 Sistema RFID en UHF**

A continuación se detallan las características de los lectores y etiquetas elegidos para trabajar en la banda de frecuencias UHF.

### **3.4.1 Lectores RFID**

Para los lectores se ha escogido el modelo ID ISC.MRU200i de la empresa FEIG Electronic diseñado para leer etiquetas en la banda de 860-960 MHz. Es un lector multiprotocolo de media distancia que posee dos antenas integradas, una de corto alcance (campo cercano) y otra de largo alcance (campo lejano).

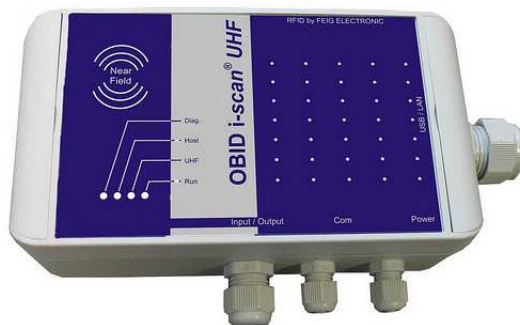


Figura 15 – Lector ID ISC.MRU200i de FEIG Electronic

Las principales especificaciones técnicas se resumen a continuación (20):





<b>Familia de lectores</b>	OBID i-scan <sup>®</sup> UHF
<b>Modelo</b>	ISC.MRU200i con dos antenas integradas
<b>Frecuencia</b>	865.6 - 867.6 MHz (EN 302 208, Europa) 902 - 928 MHz (FCC CFR 47 Part 15.247, EE.UU)
<b>Rango de lectura</b>	Antena corto alcance: 10 - 40 cm Antena largo alcance: 20 - 80 cm
<b>Dimensiones</b>	200x110x60 mm
<b>Tags soportados</b>	EPC Gen 2 Opcionalmente ISO 18000-6B y C
<b>Tipo de etiquetas</b>	Pasivas
<b>Interfaz de comunicación</b>	USB

Tabla 8 – Principales características de los lectores UHF

Además, estos lectores presentan otras características específicas:

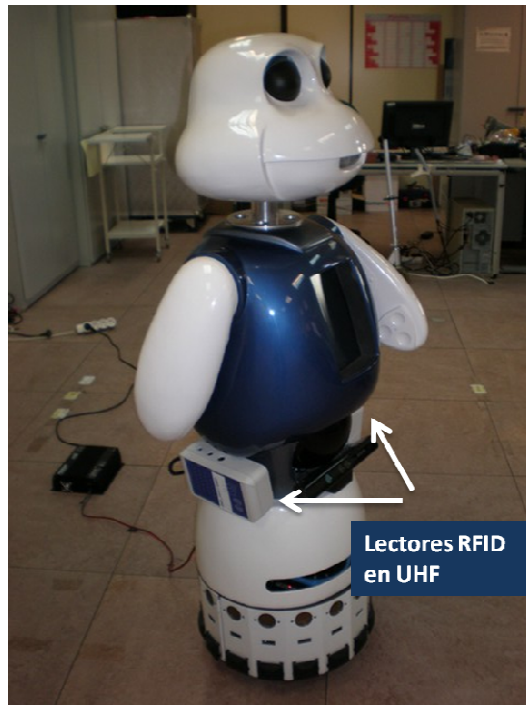
- Se puede ajustar la potencia transmitida por el lector vía software, con valores desde los 50 a los 300 mW. Permiten limitar el rango de lectura mediante lo que denominan “Low Power Mode”.

- Implementan funciones anticolidión de alta velocidad que permiten controlar la comunicación entre el lector y varios tags que se encuentran dentro del rango de cobertura del lector para que no haya interferencias.
- Poseen unos indicadores ópticos, cuatro LEDs de colores, para mostrar el estado de operación (20):

<b>LEDs</b>	<b>Descripción</b>
 V1	- Indica el buen funcionamiento del software del lector.
 V2	<i>Comunicación RF</i> - Parpadea brevemente cuando se realiza la comunicación con el tag sin errores. - Parpadea alternativamente con el LED V1 en caso de errores en los datos cuando se leen parámetros después de un reset.
 V3	<i>Comunicación con el host</i> - Parpadea brevemente cuando se envía un comando al host.
 V4	<i>Aviso RF</i> - Se enciende cuando se ha producido un error en la parte RF del lector.

**Tabla 9 – Configuración de los LEDs del lector**

A diferencia de los lectores en HF, el modelo adquirido para la banda UHF presenta un inconveniente en cuanto al tamaño. Son demasiado grandes como para incorporarlos dentro del robot. La solución fue colocarlos por fuera, a cada lado del robot, como se muestra en la Figura 16.

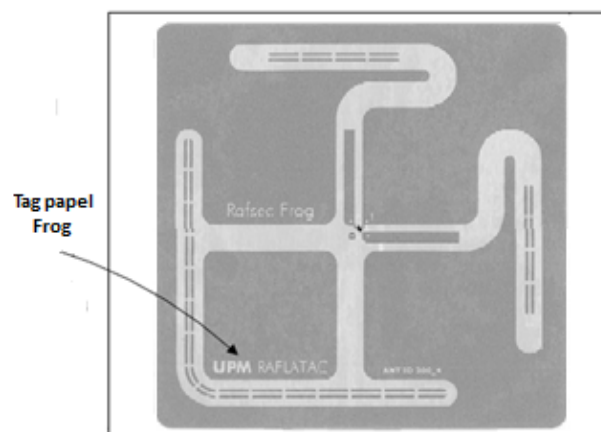


**Figura 16 – Posición de los lectores UHF en el robot Maggie**

La posición de los lectores en el robot es adecuada para realizar las tareas de navegación, situando las etiquetas en las paredes a la altura de los lectores para que la lectura sea lo más óptima posible.

### **3.4.2 Etiquetas RFID**

Los tags elegidos son pasivos y se basan en el estándar EPC Clase 1 Gen 2.



**Figura 17 – Etiqueta papel Frog EPC C1 Gen2**

Cuentan con las siguientes características técnicas:

<b>Modelo</b>	Etiqueta papel Frog
<b>Estándar</b>	EPC C1 Gen2
<b>Tecnología</b>	UHF pasivas
<b>Código EPC</b>	96 bits
<b>Capacidad de programación</b>	Lectura/Escritura
<b>Antena</b>	Omnidireccional
<b>Dimensiones</b>	76x76 mm
<b>Característica</b>	Insensibles a la orientación

**Tabla 10 – Principales características de las etiquetas papel Frog EPC C1 Gen2**

Al ser etiquetas EPC C1 Gen2 tienen una serie de especificaciones que se presentan en el siguiente punto.

### **3.4.3 Estándar EPC Clase 1 Generación 2**

Las especificaciones que detallan el protocolo de comunicación entre los lectores y etiquetas pasivas RFID que operan en la banda de frecuencia 860 – 960 MHz se conoce como UHF Clase 1 Generación 2 (21). A continuación se mencionan algunos requisitos físicos y lógicos que aparecen en este estándar.

La comunicación entre estos dispositivos se basa en el principio *“Interrogator Talks First”* (ITF), por el que los tags sólo transmiten información cuando reciben una petición por parte del lector y es una comunicación half-duplex, es decir, que el lector y la etiqueta no pueden transmitir a la vez, sino que mientras uno envía información, el otro escucha y viceversa.

La frecuencia de transmisión de los lectores está entre los 860 – 960 MHz de acuerdo a regulaciones locales, mientras que las etiquetas, en general, deben poder operar en cualquier frecuencia de esa banda.

En Europa sólo hay disponibles diez canales para operar a 2W ERP (*Effective Radiated Power*) y el ancho de banda de cada uno es de 200 KHz. Además, los lectores deben seguir el principio de *“Listen Before Talk”*, que consiste en escuchar primero por un canal y si no se detectan señales, transmitir por él.

### → Procedimientos de operación

La comunicación entre el lector y uno o más tags se lleva a cabo modulando una señal usando alguno de los tres esquemas de modulación ASK: DSB-ASK, SSB-ASK o PR-ASK.

El lector elige la más apropiada de acuerdo a sus propios parámetros de operación, mientras que las etiquetas deben saber demodular los tres tipos.

Para la codificación de los datos el lector utiliza la codificación PIE (*Pulse Interval Encoding*) (21), que se muestra en la siguiente figura:

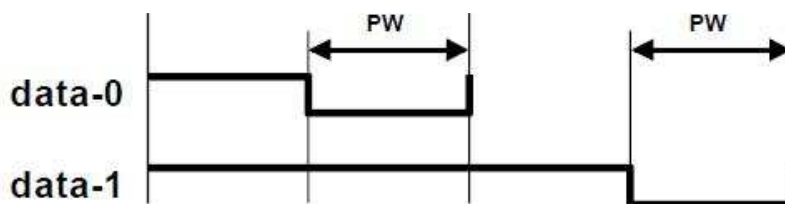


Figura 18 – Símbolos PIE

Para responder a las peticiones del lector, las etiquetas pueden usar uno de los dos esquemas de modulación posibles: ASK o PSK. Para la codificación de los datos en el enlace de comunicación etiqueta-lector existen dos posibilidades: FMO banda base o subportadora con modulación Miller.

Si se desea saber más sobre cómo son estas codificaciones, se recomienda consultar el estándar donde vienen detallados estos aspectos (21).

### → Comandos

Existen cuatro tipos de comandos que pueden soportar los lectores y etiquetas: obligatorios, opcionales, propietarios y personalizados. Los dos primeros vienen definidos en el estándar, mientras que los dos últimos los define el proveedor.

Los lectores gestionan las etiquetas mediante tres operaciones básicas:

- *Select*: se escoge el grupo de etiquetas que participarán en las operaciones de *Access* e *Inventory*.
- *Inventory*: se identifican las etiquetas.
- *Access*: se lleva a cabo la comunicación con un tag que previamente ha sido identificado. Este tipo de operaciones comprende la lectura y escritura de etiquetas. Los datos leídos y escritos tienen que ser de un tamaño múltiplo de 16 bits puesto que, como se verá en la Figura 19, la memoria está dividida en bloques de palabras de 16 bits.

## → Memoria

La memoria de las etiquetas EPC C1 Gen2 está separada lógicamente en cuatro bancos distintos:

- Memoria reservada: contiene la contraseña para inhabilitar una etiqueta permanentemente (*kill password*) y/o la contraseña de acceso (*access password*), en el caso de que las contraseñas estén implementadas en el tag. Ambas son de 32 bits y las direcciones de memoria en las que están almacenadas se puede apreciar en el mapa de memoria de la Figura 19.
- Memoria EPC: contiene un CRC (*StoreCRC*) de 16 bits en la dirección 00<sub>h</sub>, los bits de Protocolo de Control (*StoredPC*) de 16 bits en la direcciones 10<sub>h</sub> a 1F<sub>h</sub>, el código EPC que identifica al objeto, almacenado a partir de la dirección 20<sub>h</sub> y, si el tag implementa el Protocolo de Control Extendido (*XPC*), una o dos palabras XPC a partir de la dirección 210<sub>h</sub>.

En los siguientes bits del *StoredPC* viene indicado la longitud del código EPC y si el tag posee memoria de usuario:

- Bits 10<sub>h</sub> - 14<sub>h</sub>: indican la longitud del código EPC, en tamaño de palabras de 16 bits:
  - 00000<sub>2</sub>: 0 palabras.
  - 00001<sub>2</sub>: 1 palabra (16 bits).
  - ...
  - 11111<sub>2</sub>: 31 palabras (496 bits).
- Bit 15<sub>h</sub>: indicador de memoria de usuario (UMI). Si en este bit hay un 0, entonces el tag o no tiene memoria de usuario o no hay información en ella.

En las etiquetas adquiridas, el *StoredPC* contiene:

3000 (hexadecimal)  $\implies$  0011 0000 0000 0000 (binario)

Como los primeros cinco bits corresponden a la longitud del EPC (00110), esto significa que el identificador en estas etiquetas ocupa 6 palabras (96 bits).

Además se observa que el bit UMI es un 0, lo que implica que no poseen memoria de usuario.

- Memoria TID: contiene uno de los dos posibles identificadores de clase de 8-bits (0xE2 ó 0xE0) en la dirección 00<sub>h</sub>. A partir de la 07<sub>h</sub>, debe haber almacenada información suficiente para que un lector pueda identificar los comandos personalizados y opcionales que puede soportar un tag.
- Memoria de usuario: es opcional, por lo que habrá etiquetas que tengan y otras que no, dependiendo del bit almacenado en el campo UMI de la memoria EPC.

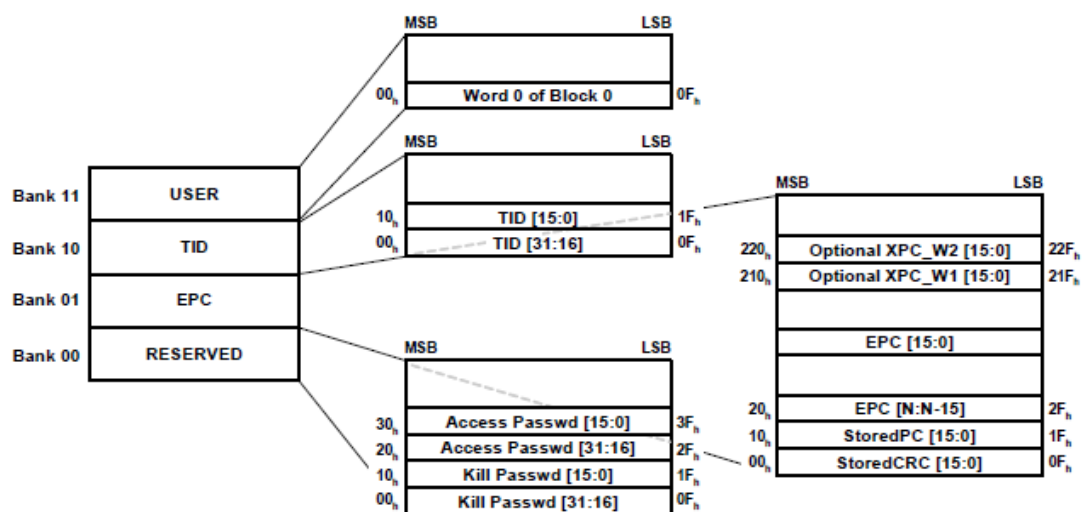


Figura 19 – Mapa lógico de memoria

Las etiquetas adquiridas para los lectores UHF de Maggie no cuentan con memoria de usuario. Esto significa que no es posible almacenar ningún tipo de información en este banco. Sólo se permite escribir en los 96 bits que ocupa el código EPC en el banco de memoria EPC.

Normalmente, las etiquetas EPC C1 Gen2 sólo almacenan un número único en su memoria que las identifica y es en una base de datos o en un fichero donde se encuentra el resto de información sobre el objeto en el que están adheridas.

La asignación de la memoria para las etiquetas EPC Clase 1 Gen 2 se muestra en la Figura 20, donde además se puede observar qué direcciones de memoria pueden escribirse y cuáles son sólo de lectura (22).



FIELD	@RESERVED	@EPC	@TID	@USER	Content	Read/Write
RESERVED	0				Kill Password	R/W
	1					
	2					
	3					
	4				Access Password	R/W
	5					
	6					
	7					
	8				Optional	R/W
	...					
	n					
EPC		0			CRC-16	R/-
		1			Protocol Control Bits	R/W
		2				
		3			EPC data	R/W
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16			Optional data	R/W
		...				
		n <sub>2</sub>				
TID			0		0xE2	R/-
			1		Tag mask designer identifier + vendor-defined tag model number	R/-
			2			
			3		Optional	R/-
			...			
			n <sub>3</sub>			
USER				0	Optional User Data	R/W
				...		
				n <sub>4</sub>		

Figura 20 – Asignación de la memoria para etiquetas EPC Clase 1 Gen 2



# Capítulo 4

## Habilidades RFID para el Robot Maggie

### 4.1 Introducción

El objetivo de este proyecto es ampliar las habilidades de lectura y escritura de etiquetas RFID ya implementadas en Maggie para poder utilizarlas en los sistemas RFID incorporados al robot, independientemente de que sean HF o UHF.

Para ello se seguirá el diseño de la arquitectura software desarrollado para los dispositivos HF y el mismo formato en donde se guardan los datos leídos (13), con el fin de que se realicen los mínimos cambios en aquellas aplicaciones que necesiten la información adquirida por los lectores.

En este capítulo se explicará brevemente la arquitectura software del robot en la que están implementadas las habilidades RFID, para posteriormente hablar del diseño e implementación de estas habilidades.

### 4.2 Arquitectura Software del Robot Maggie

La arquitectura software de Maggie, desarrollada por el grupo de investigación Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid, está basada en la arquitectura Automática-Deliberativa AD, que consta de dos niveles: deliberativo y automático (23).

El elemento básico de la arquitectura AD es lo que se denomina *habilidad*. Una habilidad consiste en la capacidad del robot para razonar o realizar una acción. En el nivel deliberativo se hallan las habilidades que requieren capacidad de razonamiento y, por tanto, el tiempo de respuesta es elevado, mientras que en el automático se encuentran aquellas que interactúan con los sensores y actuadores (23).

Cada habilidad en el robot Maggie es una clase que hereda de la clase *CHabilidad* y que implementa el método *proceso()*, donde se encuentra su funcionalidad.

Existen tres estados posibles para las habilidades: lista, activada y bloqueada. Cuando la habilidad está activada, el método *proceso()* se ejecuta cíclicamente hasta que la habilidad pasa al estado de bloqueada.

La comunicación en la arquitectura AD se lleva a cabo mediante la memoria a largo plazo, la memoria a corto plazo y un sistema de eventos.

En la memoria a largo plazo se guarda aquella información que se necesita que permanezca durante un largo periodo de tiempo. Sin embargo, los datos que comparten las habilidades se guardan en la memoria a corto plazo y éstos se pierden cuando se apaga el robot.

El sistema de eventos sigue el paradigma de *publisher/subscriber*. Cuando un componente de la arquitectura tiene que comunicar un suceso, emite un evento que es recibido por aquellos componentes que previamente se han suscrito a dicho evento.

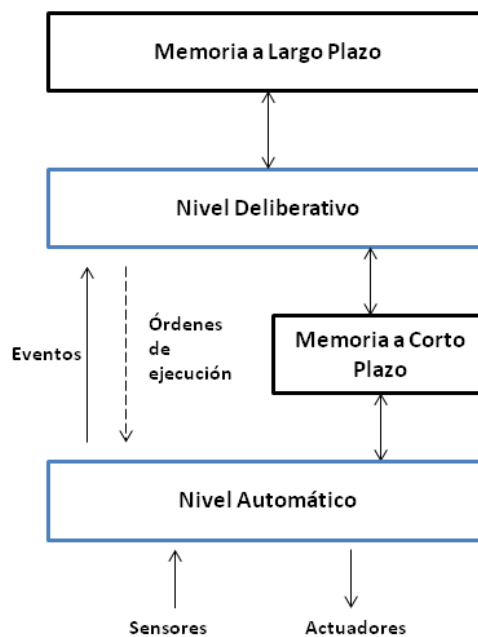


Figura 21 – Arquitectura Automática-Deliberativa

### 4.3 Diseño de la Arquitectura Software para las Habilidades RFID

El desarrollo de las habilidades del robot se realiza en un entorno Linux y con un lenguaje de programación orientado a objetos, C++.

Para implementar las habilidades RFID son necesarias unas bibliotecas de funciones que proporciona la empresa FQ Ingeniería junto con los lectores. Éstas están desarrolladas en el lenguaje C++ lo que facilita la integración en la arquitectura del robot. Además, las nuevas bibliotecas adquiridas son compatibles para ambos tipos de lectores, lo que permite poder añadir en la misma clase los nuevos métodos de los dispositivos UHF a los ya implementados para los lectores HF.

Esto hace que no se tenga que modificar la arquitectura ya diseñada para las habilidades RFID (13), prosiguiendo con el diseño de capas mostrado en la Figura 22.



Figura 22 – Arquitectura del sistema RFID

En la capa inferior se encuentran las bibliotecas de funciones y la biblioteca de clase C++ que se han mencionado antes.

En la capa intermedia se halla una clase o API (*Application Programming Interface*) que sirve como capa de abstracción entre las habilidades RFID y los métodos que proporcionan las bibliotecas para la comunicación entre los lectores y el host.

Finalmente, en la última capa se encuentran las habilidades RFID. Éstas son dos habilidades, una de lectura y otra de escritura, que se usan para identificar todo tipo de objetos, ya sean medicinas, peluches o señales empleadas en los sistemas de navegación. Esta característica permite poder utilizarlas en cualquier habilidad que requiera la captura de datos de forma automática.

En el siguiente punto se explica cada una de las capas de la arquitectura de los sistemas RFID mostradas en la Figura 22.

## 4.4 Ampliación de las Habilidades RFID

Las habilidades RFID de lectura y escritura deben realizar sus funciones independientemente del tipo de lector, de manera que cuando se vaya a ejecutar una aplicación, se pueda elegir activar el lector que mejor rendimiento ofrezca para esa aplicación concreta.

Para conseguirlo es necesario integrar las nuevas funcionalidades en cada una de las capas que forman la arquitectura software de las habilidades RFID.

### 4.4.1 Bibliotecas OBID

FEIG Electronic proporciona unas bibliotecas que permiten al usuario desarrollar sus propias aplicaciones para intercambiar datos con el lector.

Para la programación de las habilidades RFID se necesita el kit de desarrollo software para Linux ID ISC.SDK.Linux que contiene las bibliotecas dinámicas (SO), así como la biblioteca de clases en C++, tal y como se indica en la Figura 23 (20).

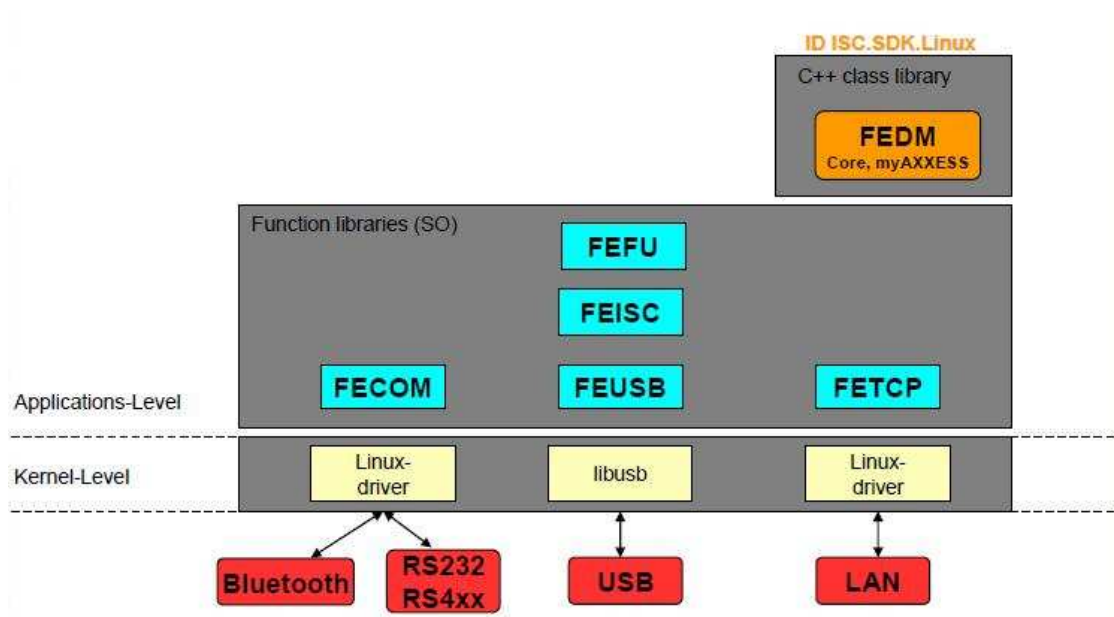


Figura 23 – Componentes software para Linux (32-bit x86)

Las diferentes capas reflejan el grado de especialización de cada componente. En el nivel más bajo (Kernel) se encuentran los drivers que controlan los distintos dispositivos según la interfaz de comunicación: USB, serie o de red. A cada una de ellas le corresponde una biblioteca de funciones en el nivel de aplicación: FEUSB, FECOM y FETCP, respectivamente. Sobre éstas existe otra capa adicional que contiene la capa de protocolos específica para cada lector OBID. En la Figura 23 sólo aparece la biblioteca FEISC, pero existen otras: FEROW, FERW, FERWA y FETRI.

La biblioteca de clase C++ FEDM se encuentra en la capa más alta y proporciona la estructura de organización para todas las familias de los lectores OBID.

Para el desarrollo de las habilidades RFID serán necesarias las bibliotecas FEUSB, FEISC y FEDM.

Los rangos de valores para los códigos de error de cada biblioteca son los que se muestran en la Tabla 11.

<b><i>Biblioteca</i></b>	<b><i>Rango de valores para los códigos de error</i></b>
<b>ID FEDM</b>	-101...-999
<b>ID FEUSB</b>	-1100...-1199
<b>ID FEISC</b>	-4000...-4099

**Tabla 11 – Rango de valores para los códigos de error**

En la siguiente tabla se muestran las versiones de las antiguas bibliotecas que se instalaron para los lectores ISC.MR101 USB de alta frecuencia y las nuevas, necesarias para los lectores ISC.MRU200i USB.

	<b><i>LECTOR ID ISC.MR101 USB</i></b>	<b><i>LECTOR ID ISC.MRU200i USB</i></b>
<b>libfeusb</b>	v2.5.0	v3.5.0
<b>libfeisc</b>	v5.5.1	v6.0.0
<b>libfedm (HF) / libFedmIscCore (UHF)</b>	v2.5.6	v3.1.0

**Tabla 12 – Versiones de las bibliotecas OBID para los lectores HF y UHF**

#### → **ID FEUSB**

La biblioteca FEUSB ofrece una interfaz para los dispositivos USB y es la que se utilizará puesto que los lectores adquiridos, tanto HF como UHF, se comunican por puerto USB con el host.

Para efectuar la comunicación con los dispositivos OBID USB son necesarios cuatro pasos:

1. Proceso de escaneo: donde se detectan todos los dispositivos OBID conectados y se administran en una lista. El método *FEUSB\_Scan* ofrece esta funcionalidad.
2. Selección del dispositivo: se selecciona un dispositivo USB de la lista obtenida en el paso anterior por medio del número de serie. Éste se puede obtener con la función *FEUSB\_GetScanListPara*.
3. Abrir camino de comunicaciones: se abre un canal para el dispositivo USB elegido.

Para ello se emplea la función *FEUSB\_OpenDevice* que devuelve un valor (manejador) que la aplicación necesita para administrar la comunicación.

Todos los canales que se abran con *FEUSB\_OpenDevice* deben cerrarse con la función *FEUSB\_CloseDevice*.

4. Intercambio de datos entre el host y el lector para llevar a cabo la lectura y escritura de etiquetas.

Hay una función, *FEUSB\_ScanAndOpen*, que realiza los tres primeros pasos juntos, pero sólo se puede usar en el caso de que se conecte un único lector.

El administrador del driver posee una lista con todos los canales abiertos de comunicación. Está compuesta por objetos que administran sus propios parámetros como el número de serie del dispositivo y el manejador para administrar la comunicación. No es imprescindible que esta información sea almacenada por la aplicación ya que se puede consultar en cualquier momento mediante las funciones que ofrece esta biblioteca (24).

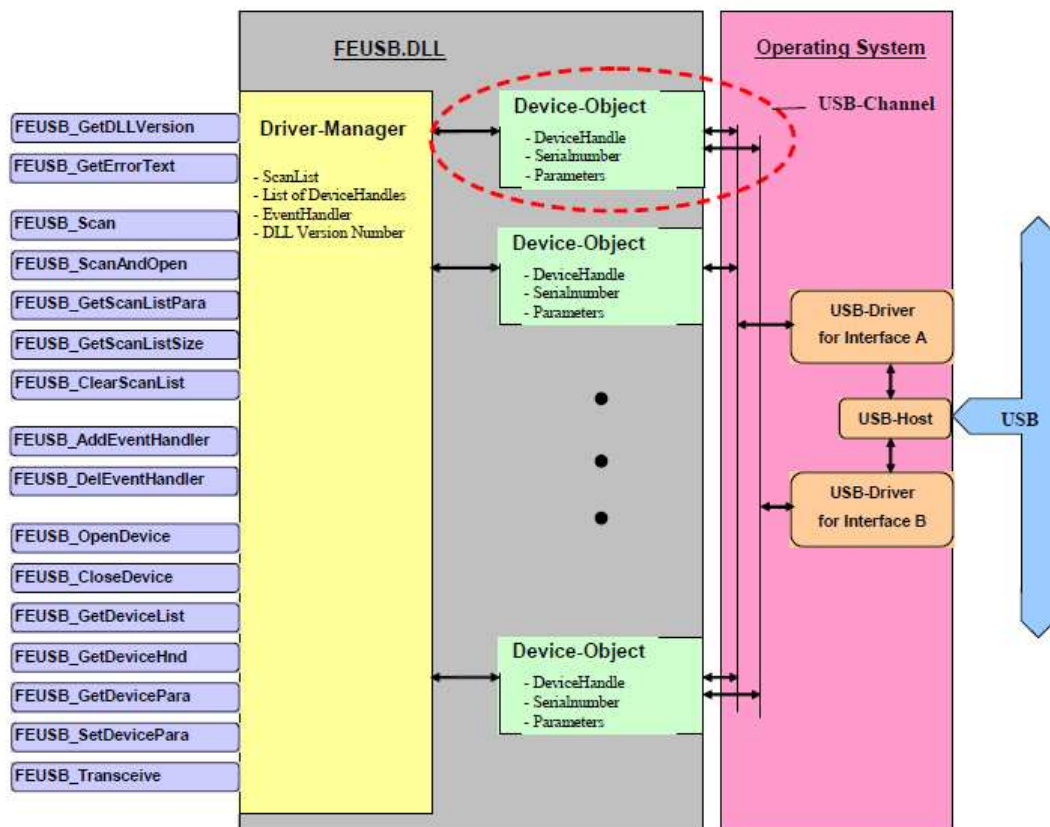


Figura 24 – Estructura interna de la biblioteca FEUSB

Todas las funciones de la biblioteca FEUSB, excepto *FEUSB\_GetDLLVersion*, devuelven un valor que es negativo en caso de error.



## → ID FEISC

La biblioteca FEISC encapsula todas las funciones y los parámetros precisos para la comunicación con los lectores de la familia OBID i-scan (24).

Los elementos fundamentales de la biblioteca son el administrador de objetos (*Object Manager*) y los objetos *Reader* que se generan en tiempo de ejecución.

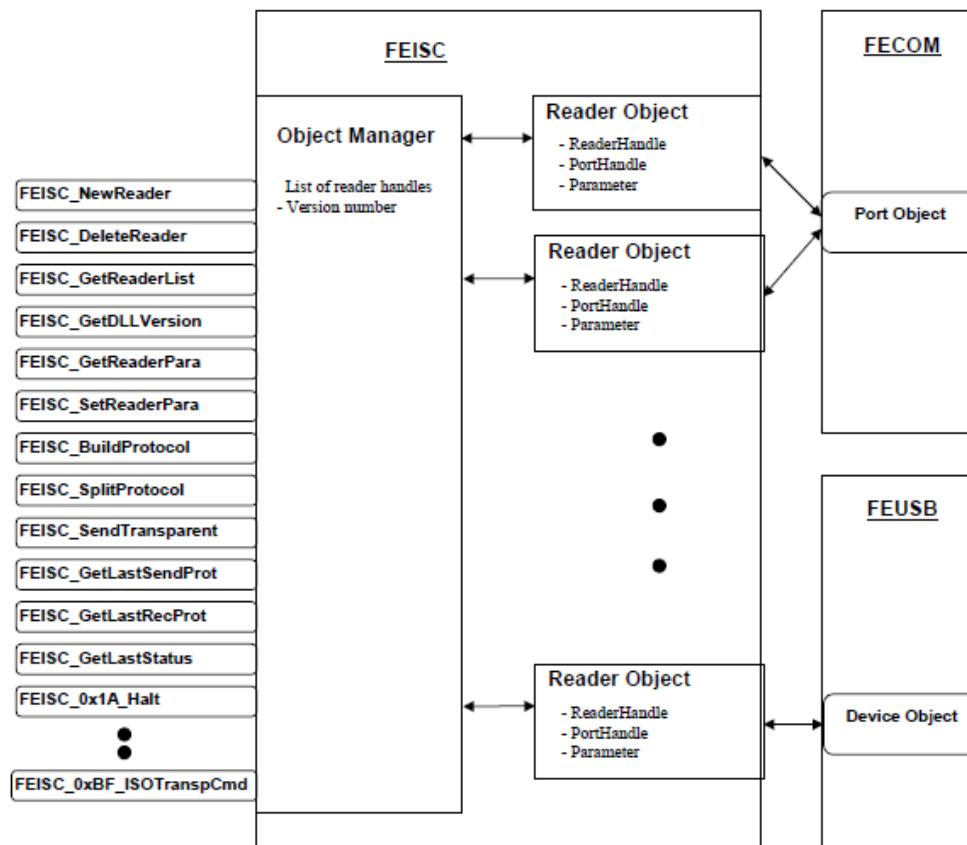


Figura 25 – Estructura interna de la biblioteca FEISC

El administrador de objetos tiene una lista con los objetos *Reader* creados. Cada uno de ellos administra todos los parámetros necesarios en su memoria local, por lo que no se requiere que la aplicación los almacene. La función `FEISC_GetReaderList` permite acceder a los objetos de la lista.

Para crear objetos *Reader* se utiliza `FEISC_NewReader`. Si no hay error, el valor que devuelve incluye un manejador que la aplicación usa como un número de acceso. Todo objeto *Reader* generado con dicha función tiene que ser borrado usando `FEISC_DeleteReader`.

La mayoría de las funciones de esta biblioteca devuelven un valor negativo en caso de error.

## → ID FEDM

La biblioteca de clase C++ FEDM permite simplificar el desarrollo de programas para los lectores RFID. En la Figura 23 se muestra como una capa de protocolo adicional sobre las bibliotecas de funciones OBID.

Gracias al principio de organización de las familias de lectores OBID se pueden crear estructuras de programa similares para todos los lectores, independientemente del lector que se esté usando. Esto será de gran utilidad para integrar los nuevos métodos para el sistema en UHF con los ya existentes.

La biblioteca FEDM proporciona la estructura de organización para todos los lectores OBID mediante clases base (*FEDM\_Base*, *FEDM\_XMLBase*), una clase base abstracta (*FEDM\_DataBase*) y clases específicas para las diferentes familias de lectores (24).

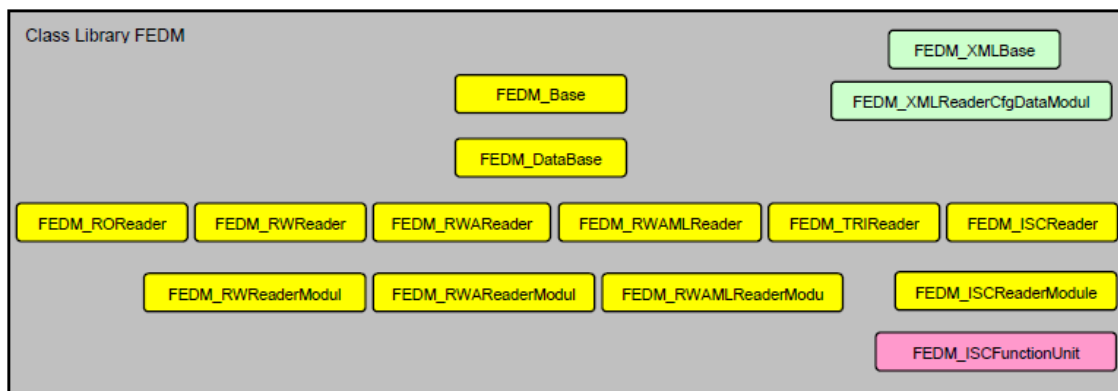


Figura 26 – Clases de la biblioteca FEDM

La Figura 27 muestra algunos de los principales métodos de la clase *FEDM\_ISCReaderModule*, que será la que se utilice para implementar las habilidades RFID, junto con las tablas y los contenedores de datos integrados en esta clase (24).

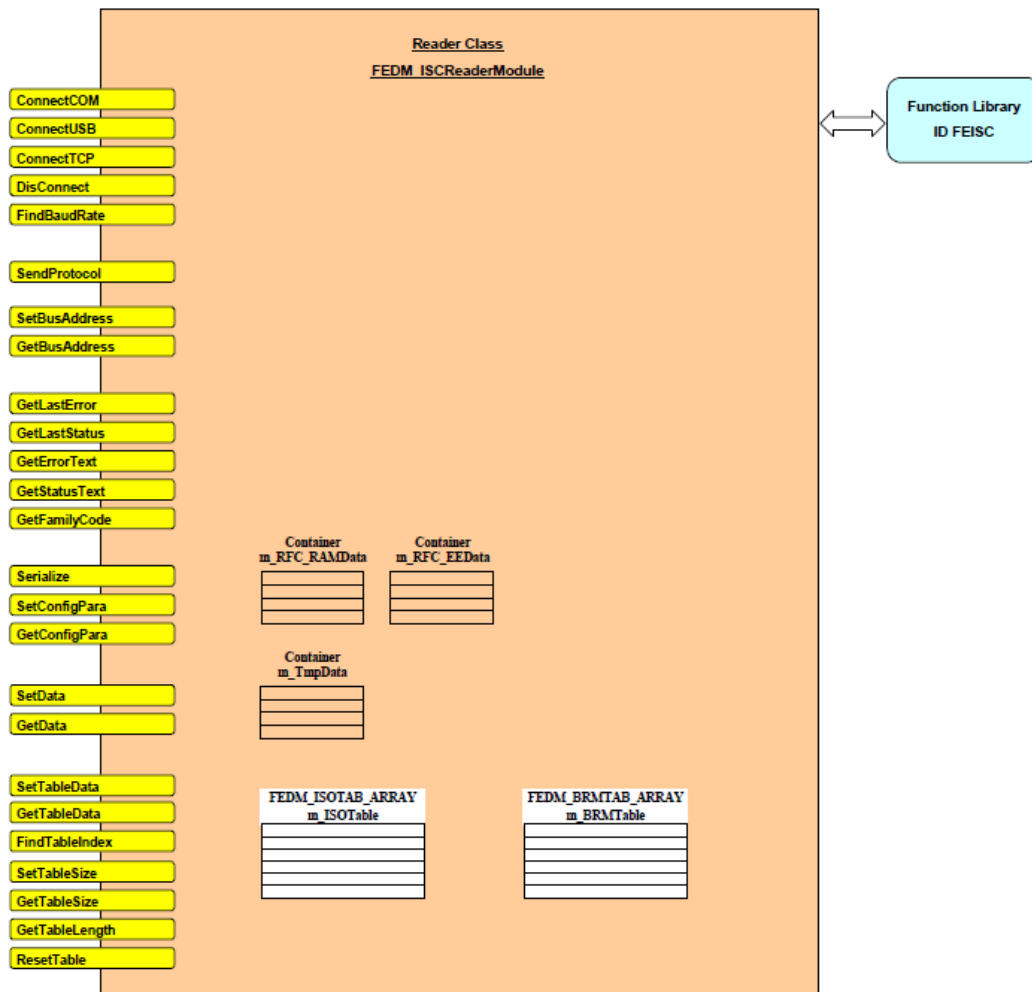


Figura 27 – Componentes de la clase FEDM\_ISCReaderModule

El método *SendProtocol* es el único método de comunicación con el lector. Para realizar el protocolo de transferencia toma los datos que precisa de los contenedores de datos; la información que recibe también la almacena ahí. Estos contenedores permiten administrar todos los parámetros y datos de las etiquetas y se organizan internamente como arrays de bytes en formato Motorola (*Big Endian*). Los datos que se precisan para realizar operaciones con múltiples tags se guardan en la tabla de datos *m\_ISOTable* que aparece en la Figura 27.

Por lo tanto, antes de invocar el método *SendProtocol* hay que asegurarse de que todos los datos están almacenados en las tablas y contenedores correspondientes.

Para acceder a los datos de los contenedores se utilizan los métodos *GetData* y *SetData*; para consultar los datos de las tablas los métodos *GetTableData* y *SetTableData*.

El valor para administrar un objeto *Reader* de la biblioteca de funciones FEISC se debe almacenar usando la función *SetReaderHnd*.

Además, la clase *FEDM\_ISCReader* contiene un método *EvalLibDependencies* que permite comprobar las versiones de las bibliotecas de funciones instaladas. Este método es muy

importante ejecutarlo cuando se va a utilizar por primera vez las habilidades RFID porque de esta forma se puede verificar que las bibliotecas instaladas son las nuevas y no son las versiones que se tenían para el sistema en HF.

#### 4.4.2 Interfaz de Programación RFID

La clase *Capi\_RFID* se sitúa en la capa intermedia de la arquitectura software de las habilidades RFID. Lleva a cabo la comunicación con el lector, enviando y recibiendo comandos para las acciones de búsqueda, lectura y escritura de etiquetas.

En esta clase se integran los métodos tanto de los lectores que funcionan en HF como los de los nuevos dispositivos. Se utilizarán unos u otros dependiendo del lector que esté activo.

Para la programación de los métodos de esta clase hay que tener en cuenta ciertas restricciones que plantean las nuevas etiquetas del estándar EPC Clase 1 Generación 2:

- El tamaño de los bloques de datos en la memoria de las etiquetas es de 2 bytes.
- Sólo se puede escribir información en los 96 bits que ocupa el código EPC. No tienen memoria de usuario.
- El identificador de las etiquetas está almacenado a partir del bloque 2 en el banco de memoria EPC. Los bloques 0 y 1, cada uno de ellos de 2 bytes, almacenan el CRC y el protocolo de control.
- Los códigos EPC pueden ser de varias longitudes, aunque los más comunes son de 96 bits. Las bibliotecas antiguas sólo soportan identificadores con una longitud de 8 bytes. En las nuevas versiones es posible trabajar con códigos de diferentes longitudes.

Además, hay que tener en cuenta que la comunicación entre los lectores y las etiquetas, tanto en HF como en UHF, se puede desarrollar de dos modos:

1. Modo direccional: se indica a la función de lectura y escritura el identificador (UID) de la etiqueta que se quiere leer o escribir. Para ello es necesario obtener previamente el UID mediante la función *Inventory*.
2. Modo no direccional: no se necesita conocer el identificador de las etiquetas. Por tanto, se realiza directamente la lectura y escritura de las etiquetas que se encuentren en la zona de cobertura del lector.

La comunicación en las habilidades RFID implementadas en Maggie se efectúa en modo direccional para asegurarse de que se leen y escriben las etiquetas correctas.

## → Funciones de la Interfaz de Programación

Las principales funciones implementadas en la API RFID son las que se encargan de abrir y cerrar el canal para la comunicación por USB, realizar la búsqueda e identificación de tags, leer la información que almacenan éstos y escribir los datos en su memoria.

A continuación se explican con más detalle los métodos que han tenido que ser modificados o añadidos a esta clase para incorporar las nuevas funcionalidades del sistema RFID en UHF.

- *Capi\_RFID ()*: es el constructor de la clase, donde se inicializan los atributos de la clase y se llama al método *FEUSB\_ClearScanList* que limpia la lista con los dispositivos USB detectados.
- *~Capi\_RFID ()*: es el destructor de la clase y en él se llama a la función *CloseDevice*.
- *OpenDevice ()*: abre el canal USB para la comunicación entre el host y el lector especificado siguiendo una serie de pasos:
  1. Se buscan dispositivos conectados al puerto USB.
  2. Se obtiene el identificador de cada dispositivo de la lista. Si coincide con el identificador del lector que se ha activado, se abre el canal de comunicaciones.
  3. Se fija el tipo de lector: si es el modelo ISC.MRU200 para UHF o ISC.MR101 para HF.
  4. Se crea un objeto *Reader*, obteniéndose el manejador con el que se administra el dispositivo.

Si no se encuentra el dispositivo especificado o se produce algún error, se devuelve un valor negativo.

- *CloseDevice ()*: cierra el canal de comunicaciones que se especifica mediante el manejador guardado para administrar el dispositivo USB.
- *Inventory ()*: esta función es imprescindible en el caso de que la comunicación con los tags se haga en modo direccional. Se emplea para buscar las etiquetas que se encuentran dentro del rango de detección del lector y obtener su UID. Antes de comenzar la búsqueda, se establece el número máximo de etiquetas que se quieren detectar.

Esta función almacena los identificadores y devuelve el número de tags detectados.

- *ReadUHF ()*: obtiene la información almacenada en uno de los bloques de memoria del tag RFID. Al implementarse en modo direccional se necesita conocer el UID, por lo que se tiene que ejecutar después de llamar a la función *Inventory*.

Esta función lee el bloque de datos almacenado en la dirección y en el banco de memoria especificados.

- *ReadUHF\_EPC ()*: esta función también se emplea para leer la información de las etiquetas, pero en este caso se realiza la lectura de múltiples bloques.

Es una función más específica que *ReadUHF* porque se emplea en la lectura de tags en los que la longitud del identificador es de 96 bits y no cuentan con memoria de usuario ya que:

- Sirve para leer sólo los datos que hay en el banco de memoria EPC: no se permite elegir el banco de memoria, sino que viene fijado dentro de la función.
- A diferencia de *ReadUHF*, se lleva a cabo la lectura del código EPC completo, es decir, que se leen a la vez los seis bloques (96 bits) en los que se almacena el identificador, en vez de realizarlo bloque por bloque. Esto reduce el tiempo que se tarda en obtener la información de la etiqueta.
- *WriteUHF ()*: permite escribir información en las etiquetas. Al igual que en la operación de lectura, se necesita el UID del tag. Cada vez que se llama a esta función se escribe un solo bloque en la dirección del banco de memoria especificado, por lo que la información a escribir debe ocupar exactamente 2 bytes.
- *WriteUHF\_EPC ()*: como ocurre con la función *ReadUHF\_EPC*, es una función más específica para etiquetas cuyo código EPC es de 96 bits, puesto que se realiza la escritura de los seis bloques que forman el código en una sola llamada a la función.

Además de estas funciones, hay otras que también se requieren para el correcto funcionamiento de las habilidades de lectura y escritura.

- *checkLib ()*: esta función se tiene que llamar cuando se va a utilizar por primera vez las habilidades RFID puesto que es la que comprueba si las bibliotecas que hay instaladas son las correctas.
- *getTypeReader ()*: indica si el lector trabaja en el rango de frecuencias HF o UHF. Según sea uno u otro se llamará a las funciones para HF o para UHF.
- *setNumEtiquetas ()*: establece el número máximo de tags que se quieren detectar en cada *Inventory*.
- *getTags ()*: obtiene los identificadores de todas las etiquetas que han sido detectadas en *Inventory*.

#### 4.4.3 Elementos de la arquitectura AD para las Habilidades RFID

Las habilidades RFID implementadas en el robot Maggie se componen de dos habilidades básicas: una de lectura y otra de escritura, que realizan sus funciones independientemente de la aplicación en la que más tarde se utilicen los datos leídos o escritos en las etiquetas RFID.

La información que se lee y escribe en las etiquetas debe tener definida una estructura para poder ser guardada en la memoria a corto plazo de la arquitectura AD con el fin de poder compartirla con otras habilidades.

Inicialmente se definió un formato para los datos obtenidos de los tags en UHF con la misma estructura que el formato para las etiquetas en HF pero con distinto tamaño.

```
#define NCOLUMNAS 4      ➡ Tamaño de cada bloque de datos
#define NFILAS 255      ➡ Número de bloques de datos
#define MAXLENGTH 1020 ➡ Máxima longitud de los datos NCOLUMNAS x NFILAS
#define UIDLENGTH 16    ➡ Longitud del UID de la etiqueta

typedef struct datos_etiqueta {
    char UID[UIDLENGTH];
    struct{
        unsigned int datos_len;
        unsigned char datos_val[MAXLENGTH];
    }datos;
}Tdatos_etiqueta;
```

Figura 28 – Estructura Tdatos\_etiqueta para almacenar información de etiquetas HF

```
#define NCOLS_UHF 2      ➡ Tamaño de cada bloque de datos
#define NFILAS_UHF 6    ➡ Número de bloques de datos
#define MAXLENGTH_UHF 12 ➡ Máxima longitud de los datos NCOLS_UHFxNFILAS_UHF
#define UIDLENGTH_UHF 24 ➡ Longitud del UID de la etiqueta

typedef struct datos_etiqueta_uhf {
    char UID[UIDLENGTH_UHF];
    struct{
        unsigned int datos_len;
        unsigned char datos_val[MAXLENGTH_UHF];
    }datos_uhf;
}Tdatos_etiqueta_uhf;
```

Figura 29 – Estructura Tdatos\_etiqueta\_uhf para almacenar información de etiquetas UHF

El identificador de las etiquetas EPC es de 12 bytes (96 bits), que es la longitud máxima de los datos que se pueden leer o escribir. Sin embargo, cuando se obtiene el UID de la etiqueta, éste es un string donde cada dos caracteres se interpretan como un valor hexadecimal. De esta forma:

Código EPC: 4D6167676965202020202020 (24 bytes)
Valor hexadecimal: 0x4D 0x61 0x67 0x67 0x69 0x65 0x20 0x20 0x20 0x20 0x20 0x20
Datos que representa: Maggie (12 bytes, contando los espacios en blanco)

Figura 30 – Datos que representa el código EPC

Por tanto, para almacenar el UID se necesitará un array de char con el doble de capacidad. En este caso, como la longitud del identificador son 12 bytes, habrá que reservar un espacio de 24 bytes.

Para informar al resto de habilidades de que los datos están disponibles en la memoria a corto plazo, se requiere el uso del sistema de eventos que sigue el patrón *publisher/subscriber*. Cuando los datos de una etiqueta son guardados en la memoria, se comunica enviando un evento y las habilidades que se hayan suscrito a dicho evento, lo reciben y llevan a cabo aquellas acciones que están definidas en el manejador de eventos y que determinan su comportamiento.

En un principio, en la habilidad de lectura se definieron dos eventos distintos:

- *NEW\_TAG\_RFID* para notificar que los datos obtenidos de la etiqueta mediante el lector HF están disponibles en la memoria compartida.
- *NEW\_TAG\_RFID\_UHF* para comunicar, al igual que en HF, que los datos obtenidos de la etiqueta están disponibles en la memoria compartida, pero en este caso esta información ha sido adquirida por los lectores UHF.

Este primer planteamiento del diseño de dos estructuras distintas para almacenar los datos RFID y de la definición de dos eventos diferentes presenta algunas modificaciones para las habilidades que requieran datos RFID:

- Necesitan suscribirse a ambos eventos.
- Requiere definir las dos estructuras de datos *Tdatos\_etiqueta* y *Tdatos\_etiqueta\_uhf* para almacenar la información obtenida de las etiquetas HF y UHF, respectivamente.

Con el fin de no tener que realizar cambios en las habilidades ya implementadas para la identificación de objetos y para la navegación, se optó por:



- Definir un solo evento *NEW\_TAG\_RFID*.
- Definir una única estructura de datos *Tdatos\_etiqueta*, en la que se reservara espacio suficiente tanto para los datos como para los identificadores en HF y UHF. Por lo tanto, para el identificador serán necesarios 24 bytes (el máximo entre los 16 bytes para HF y 24 bytes para UHF) y para los datos 1020 bytes.

Sin embargo, con este nuevo diseño se está desaprovechando memoria al almacenar los datos de los tags EPC que ocupan sólo 12 bytes en un espacio de memoria reservado para 1020 bytes. A pesar de ello, se prefirió utilizar este segundo planteamiento en el diseño.

#### 4.4.4 Habilidad de Lectura RFID

La lectura de etiquetas RFID se lleva a cabo mediante la habilidad de lectura *CRFID\_ReadSkill*. Esta clase hereda de la clase base *CHabilidad* que sirve de patrón para definir nuevas habilidades en la arquitectura AD.

Cuando esta habilidad es activada por otras habilidades o por un secuenciador, se ejecuta el método *proceso()* que es el bucle de control de la habilidad y donde se define su funcionalidad. En él, el lector empieza a buscar etiquetas RFID. Cuando se detecta alguna, se lee su contenido, se guarda en la memoria a corto plazo y se emite el evento *NEW\_TAG\_RFID* para indicar a las habilidades suscritas a dicho evento que hay datos RFID disponibles en la memoria compartida.

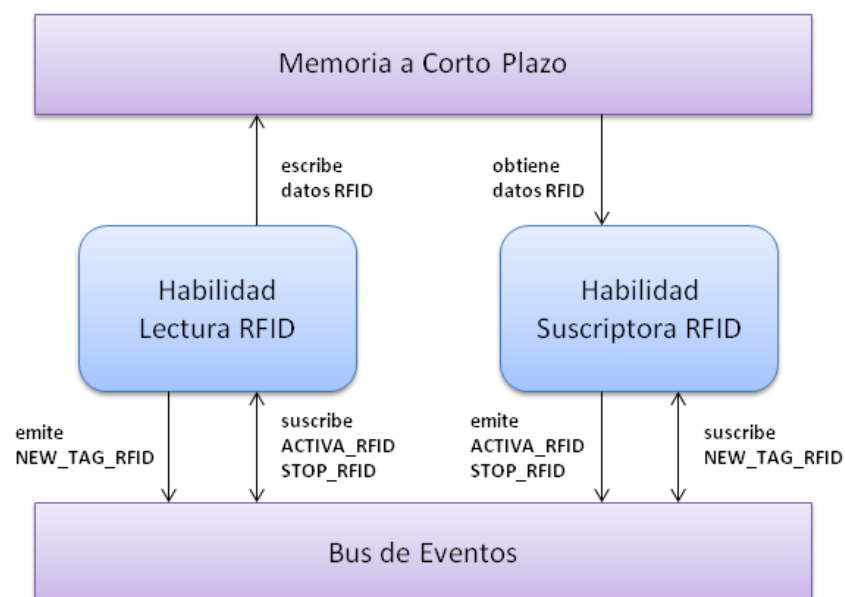


Figura 31 – Esquema de comunicación para la habilidad de lectura RFID

Para la habilidad de lectura se definen los siguientes atributos:

- *CEventManager emisor*: es el objeto emisor de eventos con el que se comunica a las habilidades suscriptoras del evento *NEW\_TAG\_RFID* que hay disponibles datos RFID en la memoria compartida.
- *Tdatos\_etiqueta data*: en esta estructura se almacena la información obtenida de las etiquetas, ya sean HF o UHF.
- *CApi\_RFID lector*: objeto de la clase de la Interfaz de Programación para RFID que permite acceder a las funciones del lector necesarias para llevar a cabo la lectura.
- *long ID\_Lector*: identificador del lector que se ha activado para realizar la lectura.

#### → **Funciones de la habilidad de lectura**

A continuación se presentan las funciones implementadas para esta habilidad. Algunas de ellas fueron ya desarrolladas para los lectores HF pero se ha llevado a cabo alguna modificación para que funcionen con ambos lectores y otras se han tenido que añadir a las ya implementadas en esta clase.

- *CRFID\_ReadSkill ()*: constructor de la clase *CRFID\_ReadSkill*, donde se abre la comunicación con el lector activado y se suscribe a los eventos *ACTIVA\_RFID* y *STOP\_RFID* para activar y bloquear la habilidad, respectivamente.
- *~CRFID\_ReadSkill ()*: destructor de la clase *CRFID\_ReadSkill*, donde se cierra el canal de comunicaciones.
- *proceso ()*: es la función que se ejecuta cuando se activa la habilidad. Su comportamiento se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 32.

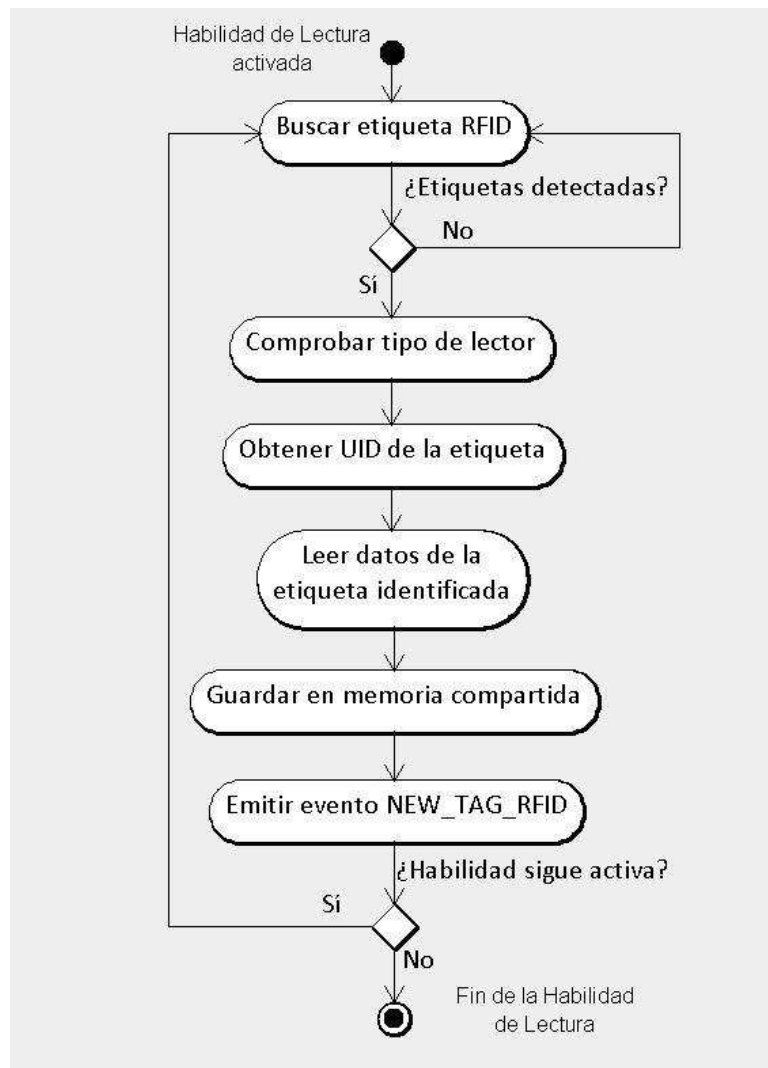


Figura 32 – Diagrama de flujo para la función proceso() de la habilidad de lectura

- *read\_tag\_data\_uhf()*: lee los 96 bytes de datos almacenados en el banco de memoria EPC. Devuelve un valor negativo en el caso de que se haya producido algún error en la lectura.
- *read\_tag\_data\_uhf\_bloques()*: obtiene la información almacenada en las etiquetas RFID, seleccionando el banco de memoria y el número de bloques que se quieren leer.
- *saveMCDataRFID()*: permite almacenar los datos leídos tanto de las etiquetas HF como UHF en la memoria a corto plazo y emite el evento *NEW\_TAG\_RFID* cuando esto se produce.

Esta función ya estaba implementada para los lectores HF pero se han tenido que añadir algunas modificaciones para que se pueda utilizar para ambas frecuencias, ya que como el rango de lectura del sistema en UHF es mayor, se producen varias lecturas de una misma etiqueta desde que el lector la detecta hasta que sale de su zona de cobertura.

Experimentalmente se vio que esto influía en el comportamiento de las habilidades suscritas al evento *NEW\_TAG\_RFID* que recibían continuamente eventos de este tipo mientras que la información era la misma.

Para evitar este envío continuado, se ha desarrollado un algoritmo en el que:

- Si el UID del nuevo tag es diferente al del tag leído en la anterior lectura, se emite el evento.
- Si los identificadores son iguales, se comprueba si ha pasado un tiempo mínimo (fijado a 5 segundos) entre las lecturas. Si se ha superado, se vuelve a publicar el evento.

Se define un tiempo mínimo porque tampoco es deseable que no sea posible volver a leer la misma etiqueta de forma consecutiva.

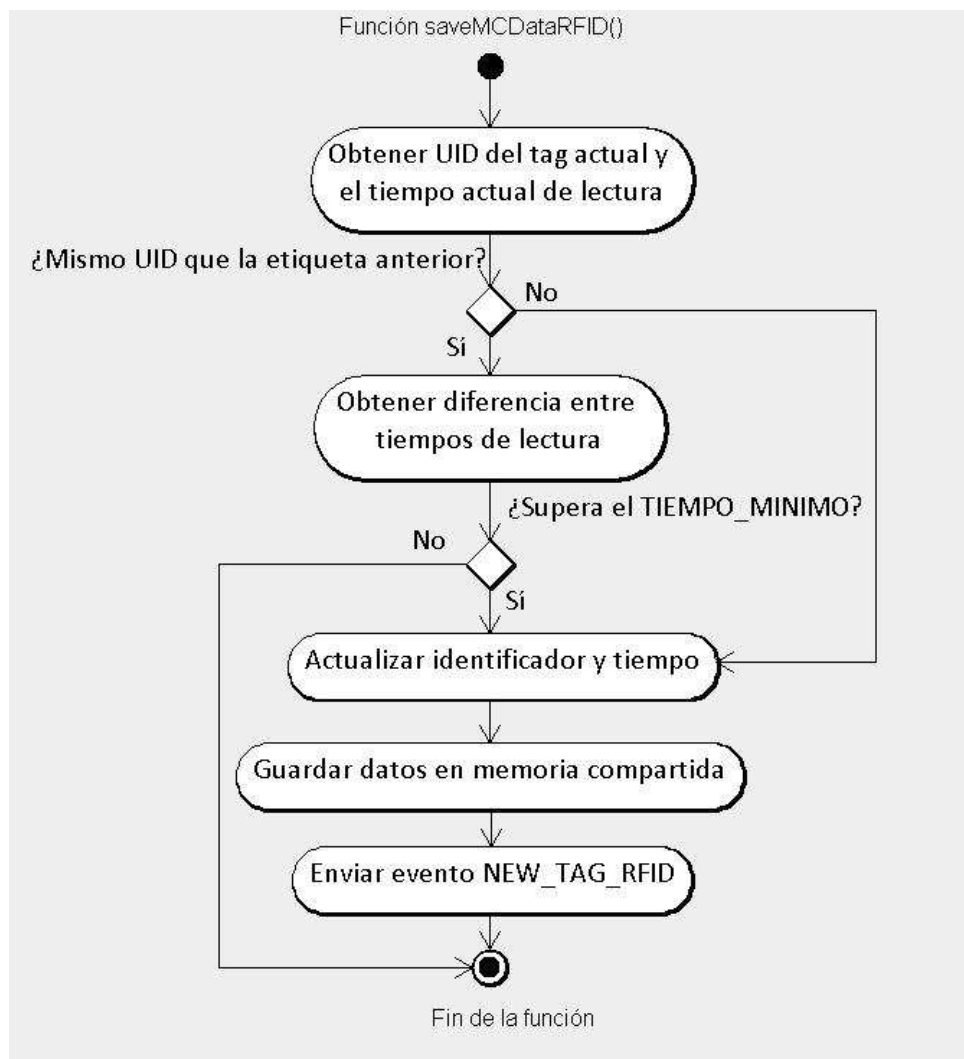


Figura 33 – Diagrama de flujo del algoritmo para evitar lecturas repetidas

En el diagrama de clases de la habilidad de lectura se muestran tanto los métodos para los lectores HF como para los de UHF.

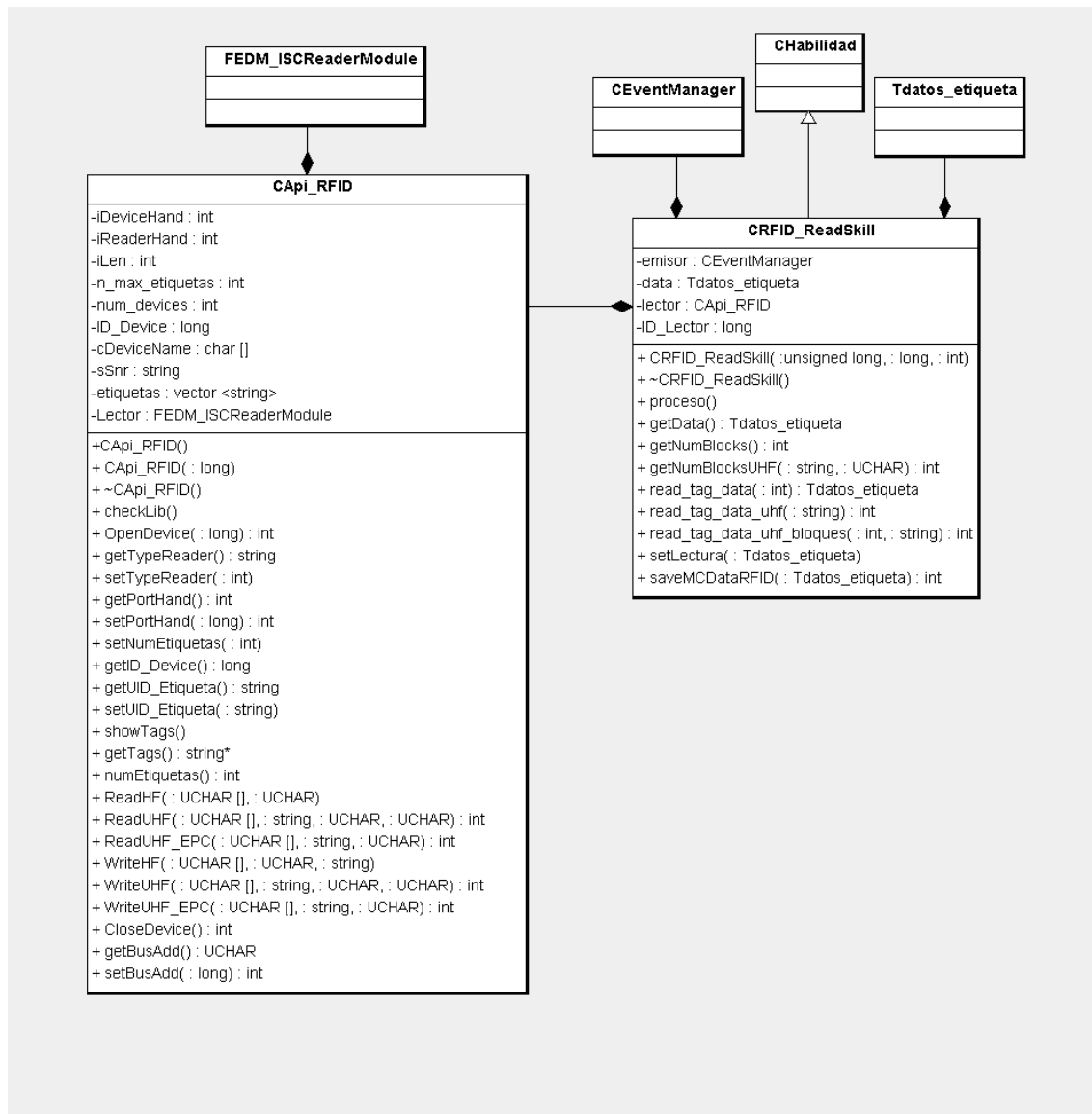


Figura 34 – Diagrama de clases de la habilidad de lectura

#### 4.4.5 Habilidad de Escritura RFID

La escritura de etiquetas RFID se lleva a cabo mediante la habilidad de escritura *CRFID\_WriteSkill*, que también hereda de la clase base *CHabilidad*.

Cuando esta habilidad es activada por otras habilidades o por un secuenciador, se ejecuta el método *proceso()*. Una vez activada, se espera a recibir el evento *NEW\_RFID\_DATA\_TO\_WRITE* que indica que hay datos en la memoria compartida para escribir en los tags. Cuando llega este evento, se leen estos datos y el lector comienza a buscar etiquetas RFID en su entorno. Si encuentra alguna, escribe la información en ella.

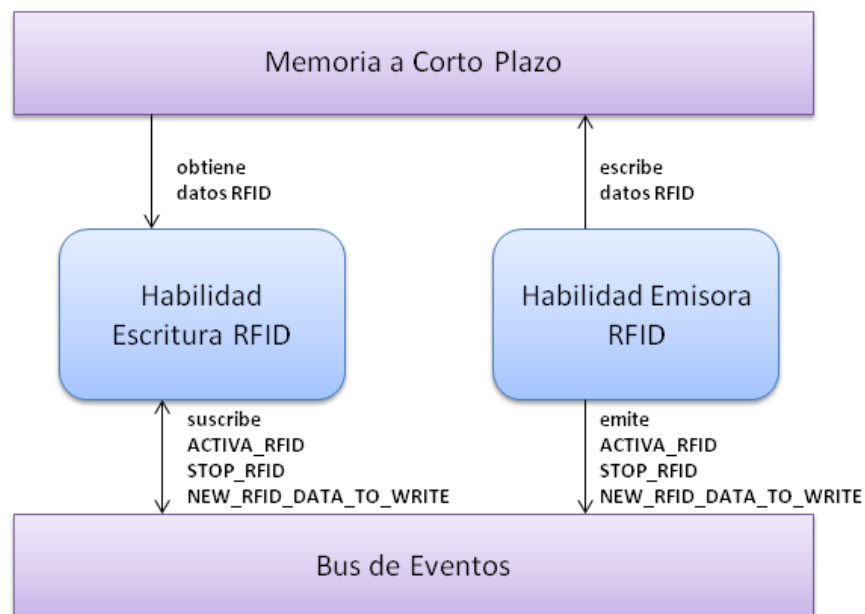


Figura 35 – Esquema de comunicación para la habilidad de escritura RFID

Para la habilidad de escritura se definen los mismos atributos que en la de lectura:

- *CEventManager emisor*: es el objeto emisor y suscriptor de eventos con el que la habilidad de escritura recibe el evento *NEW\_RFID\_DATA\_TO\_WRITE*.
- *Tdatos\_etiqueta data*: en esta estructura se almacena la información obtenida de la memoria compartida.
- *Capi\_RFID lector*: objeto de la clase de la Interfaz de Programación para RFID que permite acceder a las funciones del lector necesarias para llevar a cabo la escritura.
- *long ID\_Lector*: identificador del lector que se ha activado para realizar la escritura.

### → Funciones de la habilidad de escritura

A continuación se muestran las funciones implementadas para esta habilidad. Como ocurría en la habilidad de lectura, algunas son funciones que ya estaban implementadas para los lectores HF, pero han tenido que ser modificadas para poder utilizarlas con los nuevos dispositivos; otras son funciones nuevas.

- *CRFID\_WriteSkill ()*: constructor de la clase *CRFID\_WriteSkill*, donde se abre la comunicación con el lector activado y se suscribe a los eventos *ACTIVA\_RFID* y *STOP\_RFID* para activar y bloquear la habilidad, así como al evento *NEW\_RFID\_DATA\_TO\_WRITE* que indica que hay datos disponibles en la memoria a corto plazo para escribir en la etiqueta.
- *~CRFID\_WriteSkill ()*: destructor de la clase *CRFID\_WriteSkill*, donde se cierra el canal de comunicaciones.
- *proceso ()*: es la función que se ejecuta cuando se activa la habilidad. Una vez que se ha recibido el evento *NEW\_RFID\_DATA\_TO\_WRITE*, presenta el comportamiento que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 36.

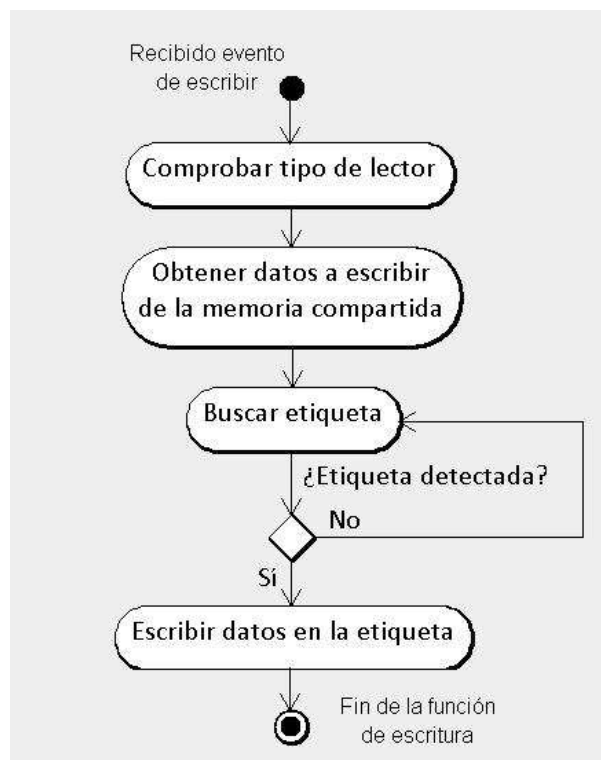


Figura 36 – Diagrama de flujo para la función proceso() de la habilidad de escritura

- *write\_tag\_data\_uhf ()*: escribe los datos que han sido almacenados en la memoria a corto plazo. Es necesario que el lector se dirija a cada etiqueta de forma individual. Por este motivo, antes de realizar la escritura se debe ejecutar el método *Inventory* que detecta las etiquetas y obtiene su UID.

- *readMCDataRFID ()*: obtiene la información que se va escribir en la etiqueta RFID. Ésta se encuentra almacenada en la memoria compartida.

En el diagrama de clases de la habilidad de escritura se muestran todos los métodos programados para los lectores HF y UHF.

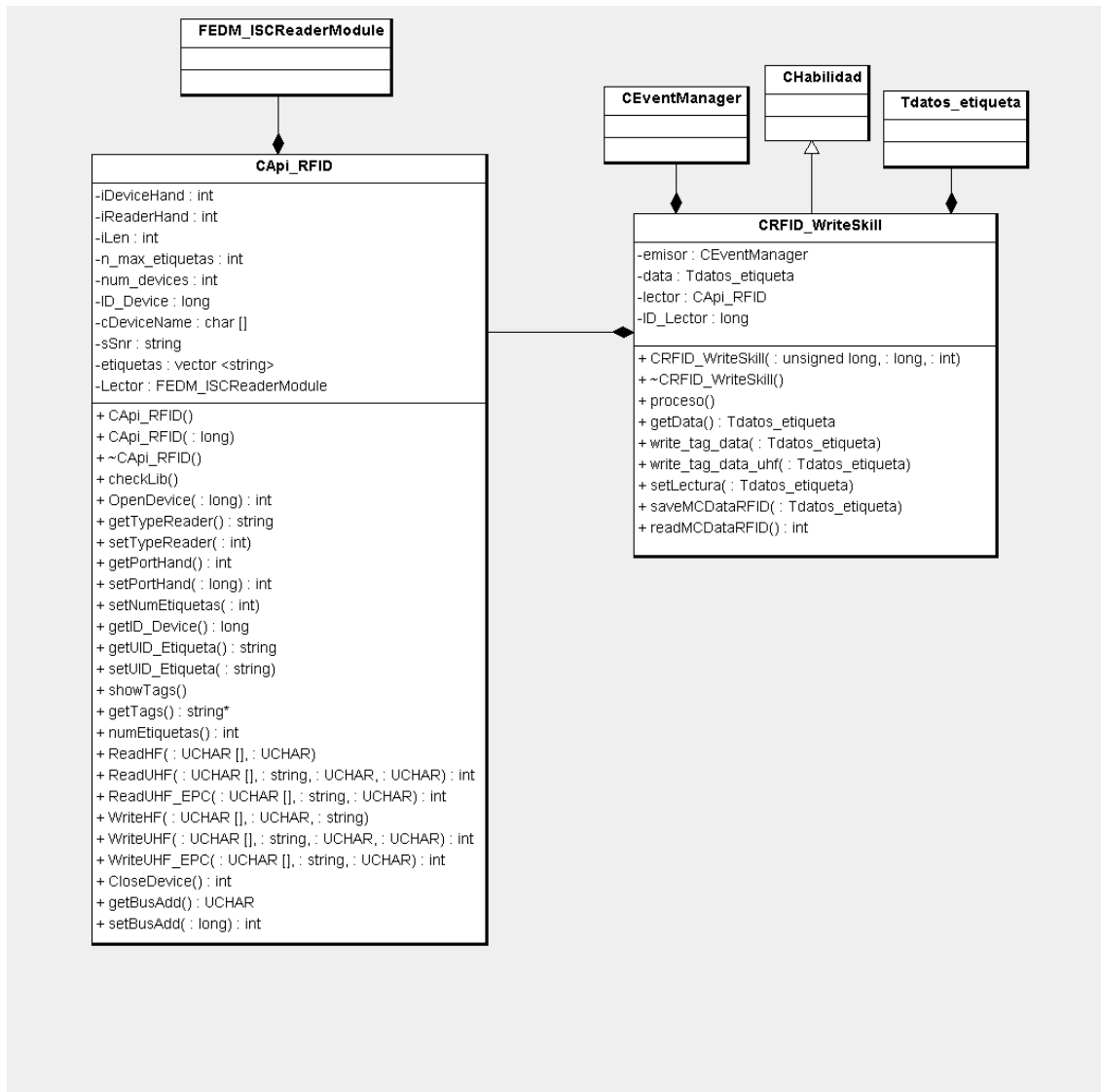


Figura 37 – Diagrama de clases de la habilidad de escritura



# Capítulo 5

## Resultados experimentales

### 5.1 Introducción

En este capítulo se presentan algunas de las pruebas llevadas a cabo para comprobar el correcto funcionamiento de las habilidades RFID con los nuevos lectores y etiquetas de la banda de frecuencias UHF.

Primero, se muestran una serie de resultados experimentales obtenidos sin tener incorporados los lectores al robot y se finaliza explicando el experimento realizado con los lectores ya integrados para la habilidad de navegación.

### 5.2 Pruebas con los lectores UHF

Para verificar que los lectores adquiridos cumplen con los requisitos de las aplicaciones de reconocimiento de objetos y navegación, así como que las habilidades de lectura y escritura realicen sus funciones correctamente, se han llevado a cabo una serie de pruebas que se detallan a continuación.

#### 5.2.1 Detección de etiquetas

**Objetivo:** comprobar que el lector detecta e identifica las etiquetas que se encuentran dentro de su zona de cobertura.

**Descripción:** en esta prueba se colocaron tres etiquetas EPC C1 Gen2 con distinto identificador cerca del lector y se limitó a 3 el número de las que se podían detectar en cada ejecución de la función *Inventory*.

**Resultados:** las tres etiquetas eran identificadas correctamente y, si se acercaba una cuarta, en cada *Inventory* sólo se detectaban tres de ellas ya que era el valor al que se había limitado.

Además se pudo comprobar que la lectura no es sensible a la posición de los tags y que se seguían leyendo aunque no estuvieran paralelos al lector.

### 5.2.2 Rango de lectura

**Objetivo:** determinar la máxima distancia a la que se pueden leer todos los datos almacenados en el banco de memoria EPC sin que se produzcan errores.

**Descripción:** se situó una etiqueta cerca del lector y se fue aumentando la distancia entre ellos hasta que o bien se dejaba de detectar el tag o se producía algún error en la lectura.

**Resultados:** con este experimento se llegó a obtener una distancia máxima de 90 cm, superior a la indicada en las características del lector. Esto puede ser debido a que la etiqueta y el lector tenían línea de visión directa, es decir, no había ningún obstáculo entre ellos y la posición era óptima. Sin embargo, esta distancia se reducía a 75 cm con los lectores colocados en el robot para realizar las tareas de navegación.

### 5.2.3 Tiempos de lectura

**Objetivo:** analizar el tiempo que se tarda en realizar la lectura de los 96 bits de información de las etiquetas RFID.

**Descripción:** se realizaron varias lecturas de la misma etiqueta a diferentes distancias y utilizando los dos métodos implementados para leer, con el fin de comparar los tiempos que se obtienen leyendo bloque por bloque o los seis bloques de datos a la vez.

**Resultados:** se observó que la distancia no influía en los tiempos de lectura, obteniéndose prácticamente el mismo promedio tanto si el tag estaba en contacto con el lector como si estaba separado 50 cm.

Sin embargo, la diferencia entre los tiempos de lectura obtenidos para leer los seis bloques uno a uno o todos a la vez es bastante considerable, como se puede observar en la Tabla 13.

<i><b>Método de lectura</b></i>	<i><b>Tiempo de lectura</b></i>
<b>Bloque por bloque</b>	139.4 ms
<b>Completo</b>	24.74 ms

**Tabla 13 – Tiempos de lectura por bloques y completo**

El tiempo promedio obtenido al realizar la lectura bloque por bloque es muy superior al tiempo que se tarda en realizar la lectura de los seis bloques de la memoria EPC a la vez. Por lo tanto, será este último método el elegido para realizar las lecturas de las etiquetas EPC Gen 2 en la habilidad RFID.

### 5.2.4 Tiempos de escritura

**Objetivo:** analizar el tiempo que se emplea en escribir los datos en una etiqueta.

**Descripción:** en esta prueba se situó una etiqueta a unos 5 cm del lector ya que esta operación requiere más energía que la de lectura.

**Resultados:** para este experimento no se pudo emplear el método de escribir los datos bloque por bloque puesto que se observó que sólo se escribía el primer bloque de datos correctamente y en el resto se obtenía un error.

Por tanto, en la habilidad de escritura se empleará el método de escribir los seis bloques de datos a la vez.

En esta prueba se obtuvieron tiempos que variaban más entre distintas escrituras, a diferencia de la prueba de lectura que se obtenían tiempos similares. Experimentalmente, se obtuvo un tiempo promedio de 83.34 ms.

El tiempo obtenido es el que se tarda en escribir los 96 bits de datos en la etiqueta ya que, aunque los datos que se utilicen para la escritura ocupen menos de 12 bytes, éstos se rellenan con espacios (0x20 en hexadecimal) hasta alcanzar dicha longitud.

Si comparamos los tiempos de lectura y escritura de los seis bloques de datos, vemos como para escribir la información en las etiquetas se requiere no sólo más energía, sino también más tiempo.

## 5.3 Pruebas con la Habilidad de Navegación

Una vez comprobado el funcionamiento de los lectores UHF, principalmente el requisito de las distancias de lectura que era lo que limitaba a los antiguos lectores, la siguiente prueba fue examinar el comportamiento de estos dispositivos cuando se colocan en el robot para realizar tareas de navegación en entornos interiores.

En la habilidad de navegación se utiliza la tecnología RFID como sistema de señalización, donde las etiquetas son las señales que se colocan en el entorno para localizar e informar al robot con el fin de que llegue a su destino.

Las etiquetas RFID deben almacenar la siguiente información (19):

- Identificador único de la etiqueta.
- Identificador que representa el tipo de datos que almacena la etiqueta: si es para navegación o reconocimiento de objetos.
- Información de la señal: lugar que representa la señal, lugares a los que se puede ir a partir del indicado por la señal (conexiones) y las acciones que tiene que ejecutar para llegar a ellos.

Sin embargo, toda esta información no es posible almacenarla en los tags EPC Gen2 que sólo cuentan con 96 bits de datos. Por ello, lo que se almacena es un identificador con el que se obtiene la dirección de un fichero XML donde se encuentra la información de la señal.

Solventado este problema, se pasó a llevar a cabo el experimento.

**Objetivo:** comprobar el funcionamiento de la habilidad de lectura RFID para la navegación en entornos interiores.

**Descripción:** en esta prueba se colocaron varios tags a la altura de los lectores UHF en unas cajas de cartón dispuestas a modo de pared. Cada una con unos datos que identifican una dirección XML donde se encuentra la información de las señales que representan.

El objetivo de Maggie es llegar desde una posición inicial a un destino establecido. Para ello va leyendo las etiquetas que se encuentra y realizando las acciones necesarias para poder llegar a su meta.

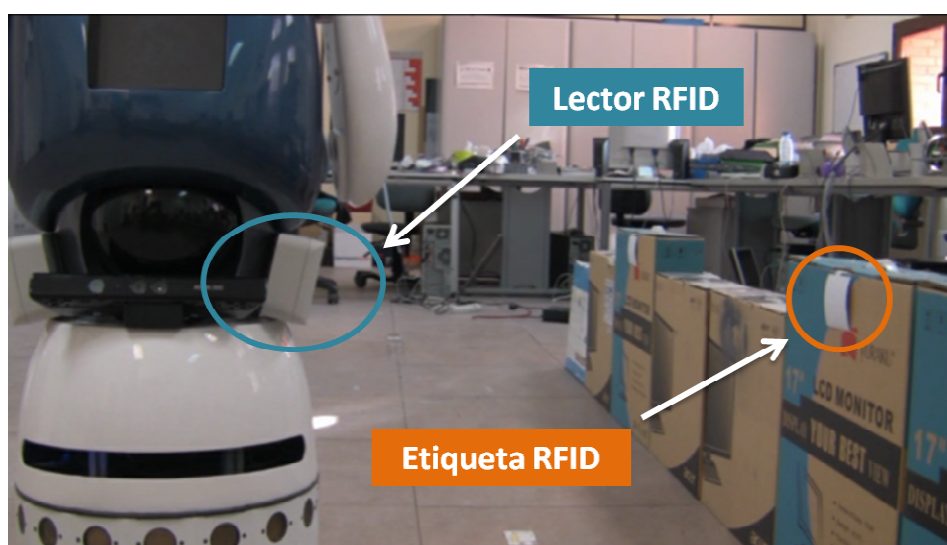


Figura 38 – Posición del lector y etiqueta RFID para la navegación

**Resultados:** con este experimento se pudieron comprobar varias características de los sistemas RFID:

1. La distancia máxima de lectura obtenida fue de 75 cm. A diferencia de la que ofrecían los lectores HF, unos 18 cm, ésta sí es adecuada para realizar tareas de navegación. Permite situar los tags en las paredes sin que Maggie tenga que acercarse mucho para poder leerlos.
2. Se pudo probar el comportamiento frente a los metales que presentan los sistemas RFID en la banda UHF. Se colocó una malla metálica delante de la etiqueta que representaba el destino al que quería llegar el robot, de tal forma que cuando pasaba por delante de la etiqueta, el lector no la detectaba. Esto se debe a que a estas frecuencias los objetos metálicos reflejan las ondas y no se puede efectuar la lectura.

3. Se verificó el funcionamiento de ambos lectores. Las etiquetas se situaron a la izquierda del robot, por lo que se iban leyendo sólo con uno de los lectores, pero cuando se pasaba de su destino (estaba colocada la malla metálica delante del tag que posteriormente se retiraba) y tenía que darse la vuelta, era el lector de la derecha el que terminaba de ejecutar la habilidad, detectando ya sí la etiqueta de destino.



# Capítulo 6

## Conclusiones y líneas futuras

### 6.1 Conclusiones

En este proyecto se ha llevado a cabo el estudio y la implementación de un sistema RFID en la banda de frecuencias UHF para el robot personal Maggie.

Como se comentó en el Capítulo 2, la tecnología de identificación por radiofrecuencia está cobrando gran importancia y presencia en los últimos años gracias a las ventajas que ofrece frente a otras tecnologías de identificación. Por ello, se emplea en numerosas aplicaciones y en diversos sectores. Uno de ellos es en el campo de la robótica donde se utiliza tanto en robots industriales como en robots asistenciales.

El robot personal Maggie realiza tareas de reconocimiento de objetos y navegación en entornos interiores mediante un sistema RFID que funciona a 13.56 MHz. Sin embargo, éste no ofrece las distancias de lectura adecuadas para la habilidad de navegación. Por este motivo, se han incorporado dos lectores RFID en UHF con antena integrada que presentan mejor rendimiento. Como el tamaño de los mismos no es adecuado para colocarlos en el interior del robot, se han situado a cada lado de Maggie como se mostró en la Figura 16. Esta ubicación es apropiada para que los lectores puedan detectar etiquetas RFID colocadas en paredes que se emplean como señales en la navegación.

Para agregar estos nuevos dispositivos al sistema RFID en HF, se ampliaron las habilidades de lectura y escritura RFID ya integradas en la arquitectura software de Maggie. Estas dos habilidades son genéricas, es decir, que se emplean para la obtención y escritura de información en los tags, independientemente de la aplicación en la que se vayan a utilizar esos datos.

Por tanto, el trabajo realizado consistió en analizar las características y funcionalidades que presentaban las nuevas versiones de las bibliotecas OBID y los nuevos lectores, así como realizar un estudio del estándar EPC C1 Gen2 en el que se basan las etiquetas en UHF. Este último punto es muy importante a la hora de desarrollar las habilidades RFID para que la lectura y escritura se realicen correctamente.

Además, las nuevas funciones desarrolladas se han integrado con las ya existentes para los lectores en HF, de manera que se puedan utilizar ambas tecnologías para la lectura y escritura de tags y se pueda elegir el lector que se va a utilizar según la aplicación.

También se ha demostrado el rendimiento del nuevo sistema RFID mediante un experimento con la habilidad de navegación, logrando unos buenos resultados. Se probó en esta habilidad puesto que es en ella donde los antiguos lectores presentaban mayores limitaciones.

## 6.2 Líneas futuras

Uno de los principales inconvenientes del nuevo sistema RFID incorporado al robot es la escasa cantidad de datos que se puede almacenar en la memoria de las etiquetas del estándar EPC Gen2. Esto se debe a que en estos tags lo que se pretende almacenar es sólo un código numérico que los identifique de forma única y guardar la información adicional en bases de datos o ficheros, permitiendo así que el coste del tag no sea muy elevado. Por tanto, algunas mejoras que se pueden realizar en el futuro son:

- Definir una estructura común de los datos a almacenar en las etiquetas RFID que sea adecuada independientemente de la tecnología que se esté usando, de la capacidad de memoria de las etiquetas y de la aplicación en la que se vaya a emplear.
- Definir una estructura de almacenamiento de datos para guardar la información adicional necesaria para cada aplicación. Al igual que en la habilidad de navegación la información sobre las señales que representan las etiquetas se almacena en un fichero XML, esto se podría llevar a cabo para el resto de habilidades que utilicen el sistema RFID.

También cabe esperar que el precio de los tags se vaya reduciendo, por lo que en un futuro se podrían adquirir nuevos tags con mayor capacidad de memoria; ya existen etiquetas con códigos EPC de 256 bits y con capacidad de almacenamiento en el banco de memoria de usuario.

En cuanto a las aplicaciones que se pueden desarrollar utilizando los sistemas RFID para la identificación de objetos y la obtención de información de una forma automática y sin la necesidad de contacto directo entre los lectores y las etiquetas, el abanico de posibilidades es inmenso.

Aprovechando la mejora en la distancia máxima de lectura, se pueden desarrollar más juegos con niños para que aprendan e interactúen con el robot. Una de estas aplicaciones podría ser un juego desarrollado para que los niños practiquen inglés, en donde el robot va preguntando por objetos en inglés y el niño tiene que acercárselos. Únicamente habría que incorporar etiquetas RFID a unos determinados objetos y, mediante el lector y la habilidad de lectura, Maggie identificaría si el objeto es el correcto.

Además, se podría escribir en una etiqueta el nombre del niño para que al comenzar el juego Maggie lo identificara, mejorándose la interacción entre el robot y el jugador.



# Capítulo 7

## Presupuesto

### 7.1 Estimación de costes

Para realizar el cálculo del presupuesto de este proyecto se han tenido en cuenta únicamente los costes asociados al material, desglosados en hardware y software. Los precios que figuran en la Tabla 14 y en la Tabla 15 no llevan incluido el IVA; por ese motivo se añade para obtener el coste total.

<i>Hardware</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Lectores ID ISC.MRU200i	2	1116 €	2232 €
Etiquetas papel Frog EPC C1 Gen2 Conjunto 100 unidades	1	120 €	120 €
Alimentador conmutado de 24 V DC / 630 mA	2	55 €	110 €
Portes (Transporte Barcelona – Leganés)			24 €
<b>Coste Total sin IVA</b>			2486 €
			<b>IVA (16%)</b> 398 €
			<b>Coste Total</b> 2884 €

Tabla 14 – Costes de material (hardware)

<i><b>Software</b></i>	<i><b>Precio</b></i>
Bibliotecas de entorno Linux ISC.SDK.LINUX	450 €
<b>IVA (16%)</b>	72 €
<b>Coste Total</b>	<b>522 €</b>

**Tabla 15 – Costes material (software)**

Por lo tanto, el coste total del material asciende a 3406 euros.

# Capítulo 8

## Glosario

- **ASK (Amplitude Shift Keying).** Modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora, manteniendo la fase y la frecuencia constante.
- **Auto-ID.** Grupo de tecnologías que se emplean para la identificación automática de personas u objetos. Dentro de éstas se encuentran la tecnología RFID, el código de barras y el reconocimiento óptico de caracteres, entre otros.
- **Auto-ID Center.** Organización fundada en 1999 cuyo principal objetivo era desarrollar un sistema para identificar productos en cualquier parte del mundo a través de Internet y el código EPC. En 2003 se dividió en dos organizaciones: EPCglobal y Auto-ID Labs.
- **Auto-ID Labs.** Organización formada por siete universidades dedicadas a la investigación, con sede en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). Su labor es continuar con el papel del Auto-ID Center en la investigación y desarrollo de estándares para el código EPC.
- **Backscatter.** Modo en que los tags envían información al lector en las bandas UHF y microondas. Cuando la onda electromagnética incide sobre la etiqueta, parte de la energía es reflejada al lector. La modulación de esta onda reflejada se produce variando la impedancia de entrada de la etiqueta.
- **Banda HF (High Frequency).** Banda del espectro electromagnético comprendida entre 3 y 30 MHz y cuya longitud de onda está entre los 100 y 10 metros.
- **Banda LF (Low Frequency).** Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 a 300 KHz y cuya longitud de onda está entre los 10 y 1 kilómetros.
- **Banda UHF (Ultra High Frequency).** Banda del espectro electromagnético comprendida entre 300 MHz y 3 GHz y cuya longitud de onda está entre 1 y 0.1 metros.
- **Campo cercano (Near Field).** Región de campo que está en las inmediaciones de la antena (distancias menores a  $\lambda$ ). Es el mecanismo que se utiliza en los sistemas RFID de baja y alta frecuencia.

- **Campo lejano (Far Field).** Región de campo que está generalmente a distancias mayores o iguales a  $\frac{2D^2}{\lambda}$  de la antena, siendo D el diámetro de la antena y  $\lambda$  la longitud de onda. También se conoce como campo de radiación. Es el mecanismo que se emplea en los sistemas RFID en UHF.
- **EAN (European Article Number).** Principal estándar de código de barras desarrollado por EAN International.
- **EAN International.** Organización encargada del desarrollo de estándares y soluciones globales para mejorar la visibilidad de los productos en las cadenas de suministro a nivel mundial. En 2005 adoptó el nombre GS1.
- **EAS (Electronic Article Surveillance).** Vigilancia Electrónica de Artículos basada en la tecnología RFID que se utiliza como sistema antirrobo en establecimientos.
- **EPC (Electronic Product Code).** Código electrónico de producto que se emplea para identificar cada ítem en la cadena de suministro y no sólo el fabricante y el tipo de producto como ocurre con los códigos de barras.
- **EPCglobal.** Organización constituida por el UCC y EAN International que surgió cuando el Auto-ID Center se dividió en 2003. Se hizo cargo de la comercialización de las tecnologías EPC, fomentando su uso entre las compañías.
- **ETSI (European Telecommunications Standards Institute).** Organización que establece normas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación en Europa.
- **FCC (Federal Communications Commission).** Órgano independiente encargado de regular el uso del espectro radioeléctrico en los Estados Unidos.
- **Formato Big Endian.** Formato usado por procesadores de máquinas Apple, donde se ordenan los bytes en memoria del más significativo al menos.
- **Formato Little Endian.** Formato adoptado por la mayoría de los procesadores Intel, donde el byte de menor peso se almacena en la posición más baja de memoria.
- **ISO (International Organization for Standardization).** Organización no gubernamental encargada de desarrollar y publicar normas internacionales y que sirve de puente entre los sectores públicos y privados.
- **Microondas.** Ondas electromagnéticas que se sitúan en el rango de frecuencias de 1 a 300 GHz y cuya longitud de onda está entre 30 centímetros y 1 milímetro.
- **NFC (Near Field Communication).** Tecnología de comunicación inalámbrica basada en la tecnología RFID que funciona en la banda de los 13.56 MHz. Permiten la interacción entre dispositivos electrónicos que se hallan a distancias cortas. Entre sus aplicaciones se encuentra la realización de pagos o transferencia de información mediante teléfonos móviles.

- **OCR (Optical Character Recognition).** Tecnología que se engloba dentro de las de identificación automática y que permite escanear y reconocer caracteres en una imagen convirtiéndola en información que puede ser tratada por cualquier editor de texto.
- **Protocolo anticolisión.** Protocolo con el que se gestionan las respuestas de múltiples tags que se encuentran dentro de la zona de cobertura del lector, para evitar que interfieran unas con otras.
- **PSK (Phase Shift Keying).** Modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones en la fase de la onda portadora.
- **RFID (Radio Frequency IDentification).** Tecnología que permite la identificación automática de personas u objetos mediante la transmisión de ondas de radio, por lo que no necesita contacto directo entre el lector, que transmite las señales a través de su antena, y la etiqueta, que envía los datos almacenados en su memoria.
- **Sistema full-duplex (FDX).** Sistema que permite la comunicación entre dos dispositivos en ambas direcciones y simultáneamente.
- **Sistema half-duplex (HDX).** Sistema que permite la comunicación entre dos dispositivos en ambas direcciones pero no al mismo tiempo. Mientras uno transmite, el otro escucha.
- **Tag.** También conocido como transpondedor por su capacidad de recibir y transmitir señales. Es la etiqueta RFID que almacena la información del objeto al que va incorporada.
- **UCC (Uniform Code Council).** Organización que se encarga de desarrollar y promover estándares para la identificación de productos, incluyendo el UPC. En 2005 cambió su nombre a GS1 convirtiéndose en miembro de la organización GS1 en Estados Unidos.
- **UPC (Universal Product Code).** Estándar de codificación para la identificación automática de productos en Estados Unidos y Canadá.



# Capítulo 9

## Referencias

- [1] Dobkin, Daniel M. *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*. Elsevier, 2008.
- [2] Finkenzeller, Klaus. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. John Wiley & Sons, 2003.
- [3] Lic. Alan Gidekel - Telectrónica Codificación S.A. *Introducción a la Tecnología RFID* [en línea]. Disponible en <http://www.rfidpoint.com/regiones-y-paises/argentina/introduccion-a-la-tecnologia-rfid-lic-alan-gidekel/> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [4] Brown, Carys. Historia de la tecnología RFID [en línea]. Disponible en [http://www.slais.ubc.ca/courses/libr500/08-09-wt2/WWW/Ca\\_Brown-WWW/history.htm](http://www.slais.ubc.ca/courses/libr500/08-09-wt2/WWW/Ca_Brown-WWW/history.htm) [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [5] Roberti, Mark. Historia de la tecnología RFID [en línea]. Disponible en <http://www.rfidjournal.com/article/view/1338> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [6] AETIC, Asociación de Empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones de España. *La tecnología RFID: Usos y oportunidades* [en línea], 2009. Disponible en <http://www.rfidpoint.com/regiones-y-paises/europa/la-tecnologia-rfid-usos-y-oportunidades/> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [7] Frecuencias de Operación [en línea]. Disponible en <http://www.rfidpoint.com> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [8] Normativas RFID [en línea]. Disponible en <http://www.dipolerfid.es> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [9] EPCglobal [en línea]. Disponible en <http://www.epcglobalsp.org> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [10] Garfinkel, Simson and Rosenberg, Beth. *RFID: Applications, Security and Privacy*. Addison-Wesley, 2005.
- [11] RFID magazine. EPC UHF Clase 1 Generación 2 [en línea]. Disponible en <http://www.rfid-magazine.com> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [12] Corrales, Juan A. et al. *La Tecnología RFID en el Contexto de la Robótica de Servicios: Breve Estado del Arte. 2as Jornadas Científicas sobre RFID*. Cuenca, 2008.

- [13] Corrales, Ana. *Sistema de identificación de objetos mediante RFID para un robot personal*. Universidad Carlos III de Madrid: Tesis de Máster. 2008.
- [14] Robot camarero Yumbo [en línea]. Disponible en <http://www.gizmowatch.com/entry/robotic-waiter-yumbo-will-take-and-deliver-the-orders/> [Consulta: 12 de Octubre de 2011].
- [15] Robot NEC - RFID como pago electrónico [en línea]. Disponible en <http://www.technodiscoveries.com/robotics/nec-robot-%E2%80%93-rfid-based-e-payment-solution.html> [Consulta: 12 de Octubre de 2011].
- [16] Hähnel, D et al. Mapping and Localization with RFID Technology. *Technical Report IRS-TR-03-014*. Seattle, 2003.
- [17] Salichs, M. A. et al. Maggie: A Robotic Platform for Human-Robot Social Interaction. *IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*. Bangkok. Thailand, 2006.
- [18] Pacheco, V.G. et al. Maggie: A Social Robot as a Gaming Platform. *International Journal of Social Robotics*. Vol. 0. No. . pp.1-11. 2011.
- [19] Corrales, Ana y Salichs, M. A. Use of RFID technology on a mobile robot for topological navigation tasks. *IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications*. Sitges, 2011.
- [20] FEIG Electronic [en línea]. Disponible en <http://www.feig.de> [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [21] EPCglobal Inc. UHF Class 1 Generation 2 Standard v1.2.0. [en línea]. Disponible en [http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2/uhfc1g2\\_1\\_2\\_0-standard-20080511.pdf](http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf) [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [22] Asignación de memoria para tags EPC [en línea]. Disponible en [http://intermec.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/8722](http://intermec.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/8722) [Consulta: 18 de Agosto de 2011].
- [23] Barber, R. *Desarrollo de una arquitectura para robots móviles autónomos. Aplicación a un sistema de navegación topológica*. Universidad Carlos III de Madrid: Tesis doctoral no publicada, 2000.
- [24] FEIG Electronic. Manuales de las bibliotecas para los lectores OBID [Manual de software informático].
- [25] Ashon, S and Ilyas, M. *RFID Handbook: Applications, Technology, Security and Privacy*. CRC Press, 2008.



# Anexo

## Configuración de los lectores RFID: Programa ISOStart

Para empezar a familiarizarse con los lectores OBID se aconseja utilizar el programa ISOStart que se proporciona con el software de los lectores. A partir de la versión 7.05.01 se soporta el lector ID ISC.MRU200.

El programa ISOStart permite, entre otras cosas:

- Comprobar la comunicación entre los lectores y las etiquetas RFID tanto en HF como en UHF.
- Leer y modificar la configuración de los lectores.

### A.1 Manual de instalación

Para poder utilizar el programa ISOStart en el sistema operativo Windows, se requieren unas instalaciones previas.

#### A.1.1 Instalación del driver USB para los lectores OBID

En la instalación del driver USB versión 2.41 para los lectores RFID UHF son necesarios los siguientes requisitos del sistema:

- Sistemas Windows 32Bit y Windows 64Bit (Windows 2000® SP4, Windows Server 2003®, Windows XP® SP2, Vista®).
- Windows DLL: FEUSB.DLL version 3.00 o mayor.
- ISOStart versión 7.05 o mayor.

También se proporciona el driver USB v2.50 preparado para Windows 7.

Para comenzar con la instalación del driver USB en Windows Vista se debe ejecutar el setup correspondiente a la versión que queremos instalar apareciendo un wizard que mostrará los pasos que se precisan para llevarla a cabo.

En la Figura 39 se muestra la pantalla de inicio del asistente de configuración.



Figura 39 –Wizard para la instalación de los driver USB en Windows Vista

Cuando se han realizado todos los pasos del wizard, aparece la siguiente imagen:



Figura 40 – Último paso en el wizard para la instalación de los driver USB

Para continuar con la instalación del software del controlador se debe desconectar y volver a conectar el dispositivo USB, apareciendo la siguiente ventana:

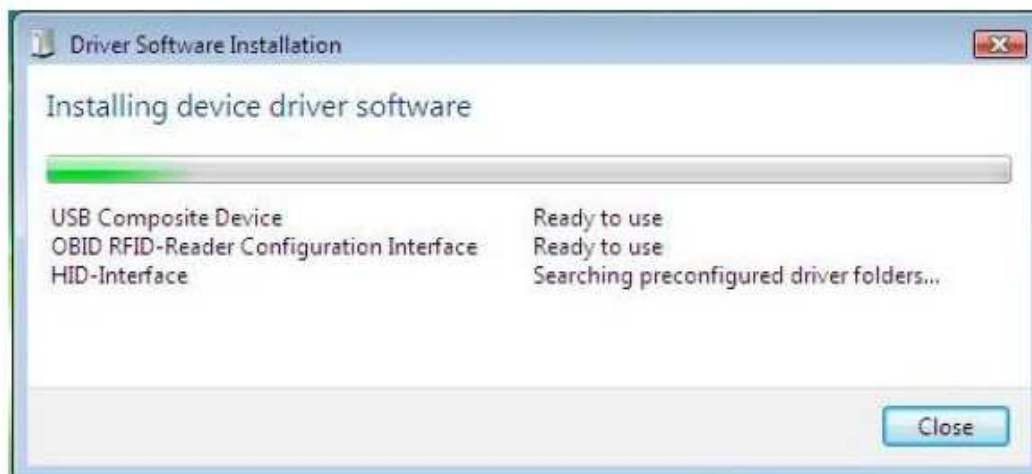


Figura 41 – Instalación del software del controlador

Una vez terminada la instalación del driver USB, el siguiente paso es la instalación del programa ISOStart.

### A.1.2 Instalación del programa ISOStart

Los requisitos del sistema son:

- Windows 2000 (32Bit), Windows XP (32Bit) or Vista (32/64Bit) con 256MB de RAM.
- Disco duro con espacio libre en memoria de 30MB.

Para su instalación es necesario ejecutar el programa setup correspondiente a la versión que se necesite. Si hubiera una versión anterior en el ordenador, ésta no se actualiza, por lo que puede ser instalado en paralelo con versiones antiguas.

## A.2 Quick Start Wizard

Una vez que se ha instalado correctamente el programa ISOStart y que hemos conectado el lector por USB al ordenador, mediante el asistente *Quick Start Wizard* se puede configurar de una forma rápida el lector siguiendo una serie de pasos:

- **Paso 1:** se detecta el lector. Para ello se elige la interfaz de comunicación (en este caso USB) y se pulsa en el botón de detectar.

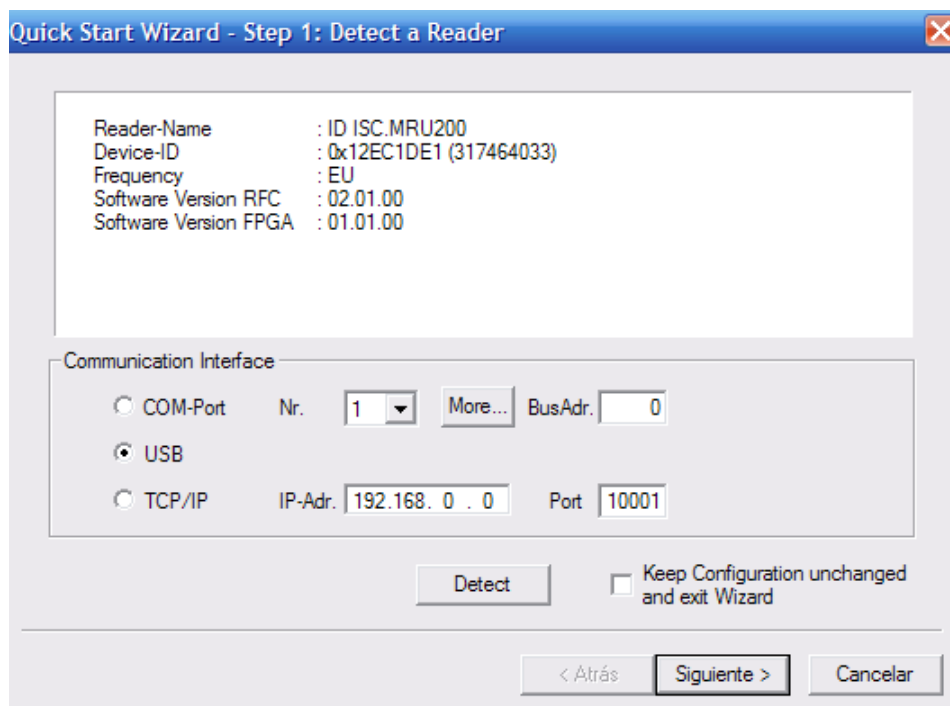


Figura 42 – Paso 1: detección del lector

Se muestra información del lector como el nombre y el identificador del dispositivo.

- **Paso 2:** se elige el tipo de etiquetas que se va a utilizar.

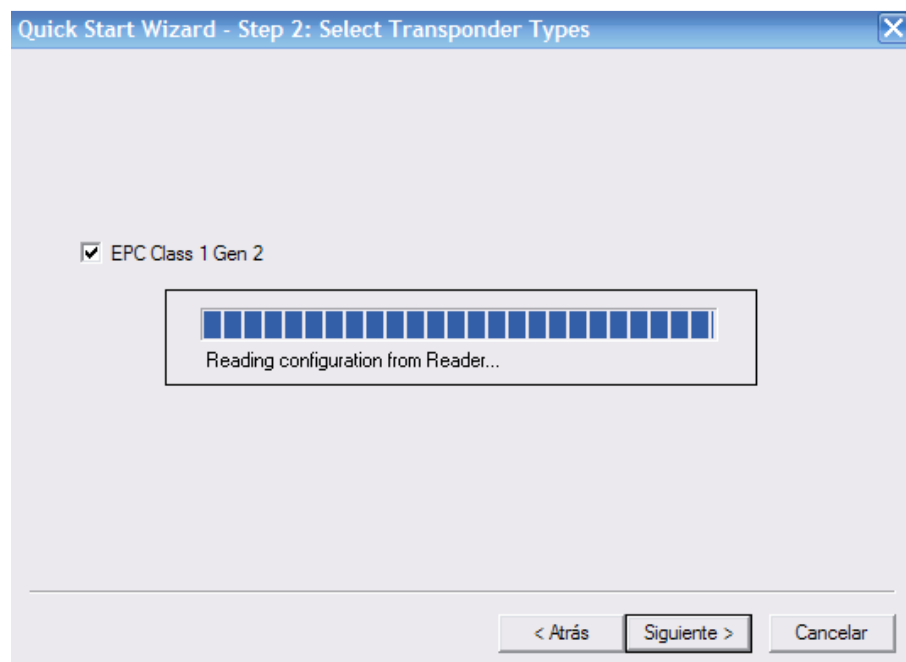


Figura 43 – Paso 2: selección del tipo de etiquetas

Aparecen las etiquetas que soporta el lector conectado. Con los lectores adquiridos para el sistema en UHF sólo se puede seleccionar el tipo EPC C1 Gen2.

- **Paso 3:** se selecciona el modo del lector.

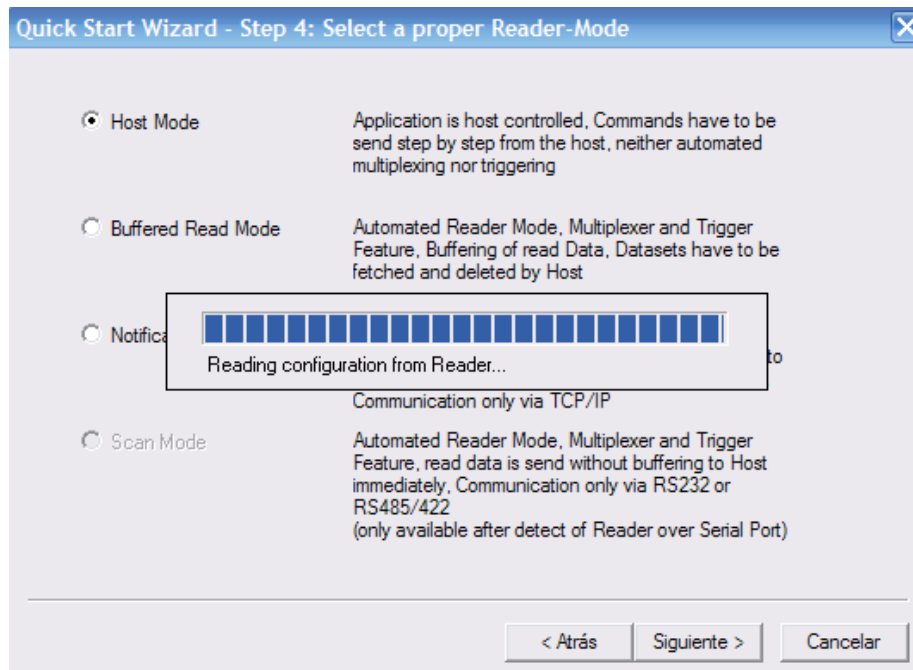


Figura 44 – Paso 3: selección del modo del lector

Hay cuatro modos posibles:

- *Host Mode.*
- *Buffered Read Mode.*
- *Notification Mode.*
- *Scan Mode.*

El que se usa para los lectores USB es el modo *Host* que permite el intercambio de comandos entre el host y el lector.

- **Pasos 4, 5 y 6:** se verifican los resultados mostrándose un resumen de la configuración que se acaba de realizar.

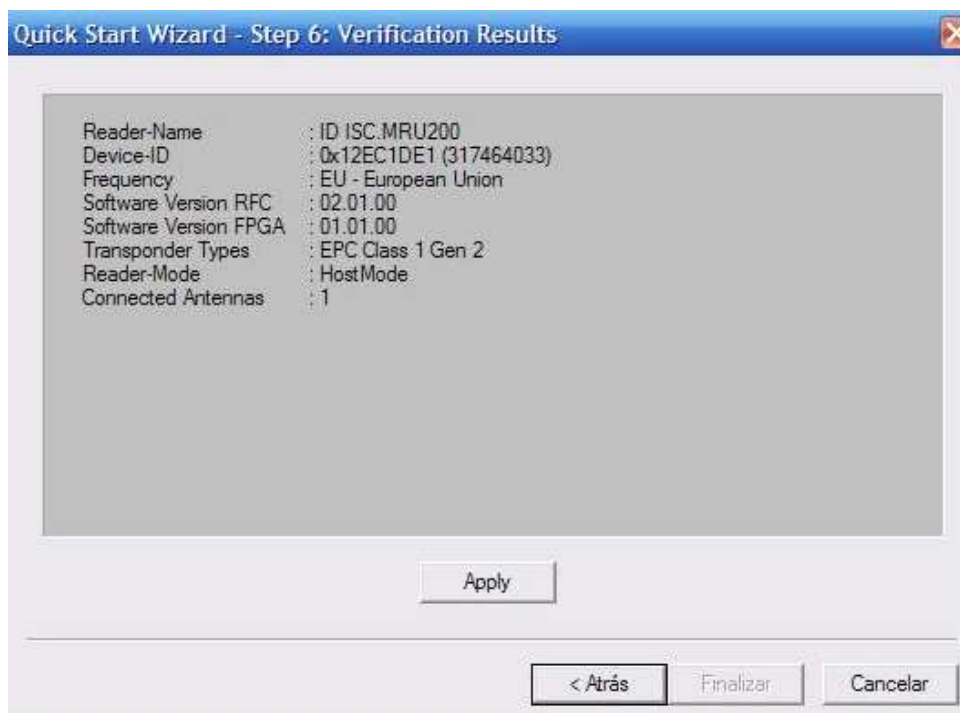


Figura 45 – Pasos 4, 5 y 6: verificación de los resultados

### A.3 Descripción del programa ISOStart

Antes de ponerse a programar las funciones de los lectores OBID, se recomienda comenzar a trabajar con el programa ISOStart.

Este programa permite no sólo leer y modificar las configuraciones de los lectores para adaptarlos a las aplicaciones en las que se vayan a utilizar, sino también proporciona un primer contacto con las funciones de lectura y escritura de las etiquetas. Además, muestra los datos que hay guardados en cada banco de memoria y los ajustes que se deben realizar antes de llevar a cabo una acción. Esto facilita la posterior tarea de programar las funciones, ya que se tiene una mejor visión de cómo funcionan los comandos.

Las zonas en las que se divide el programa ISOStart pueden verse en la Figura 46.

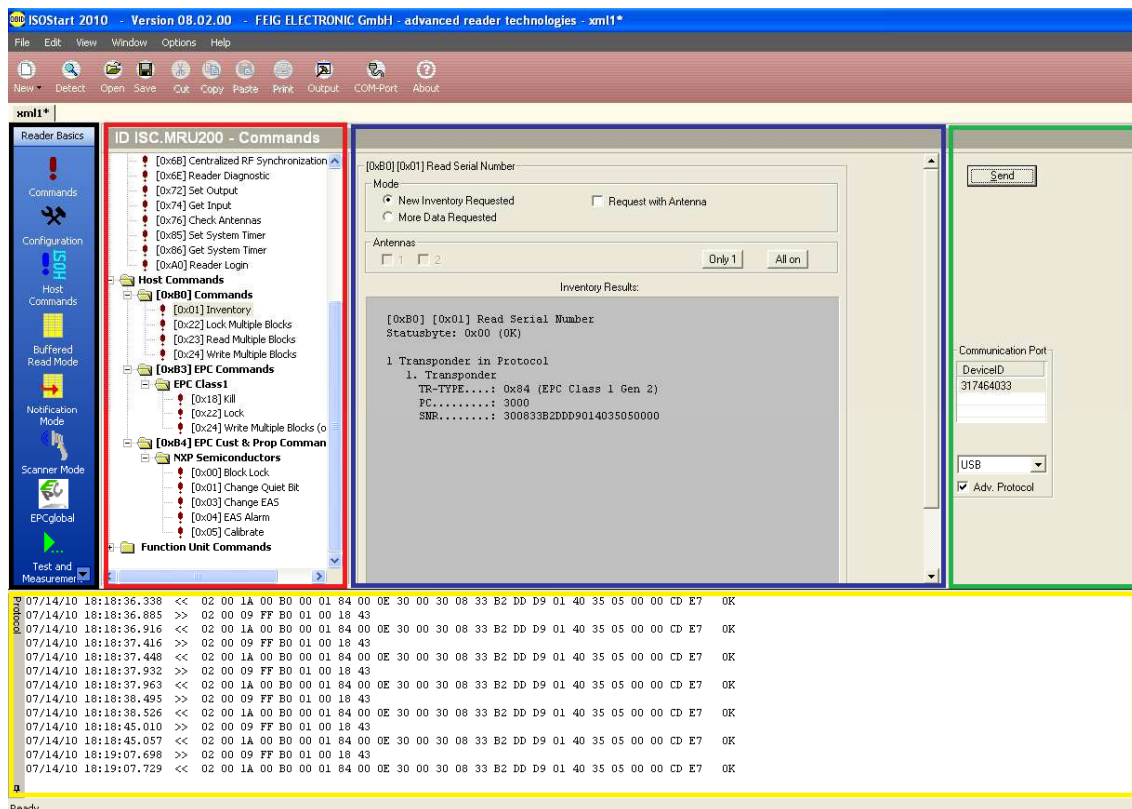


Figura 46 – Zonas del programa ISOStart

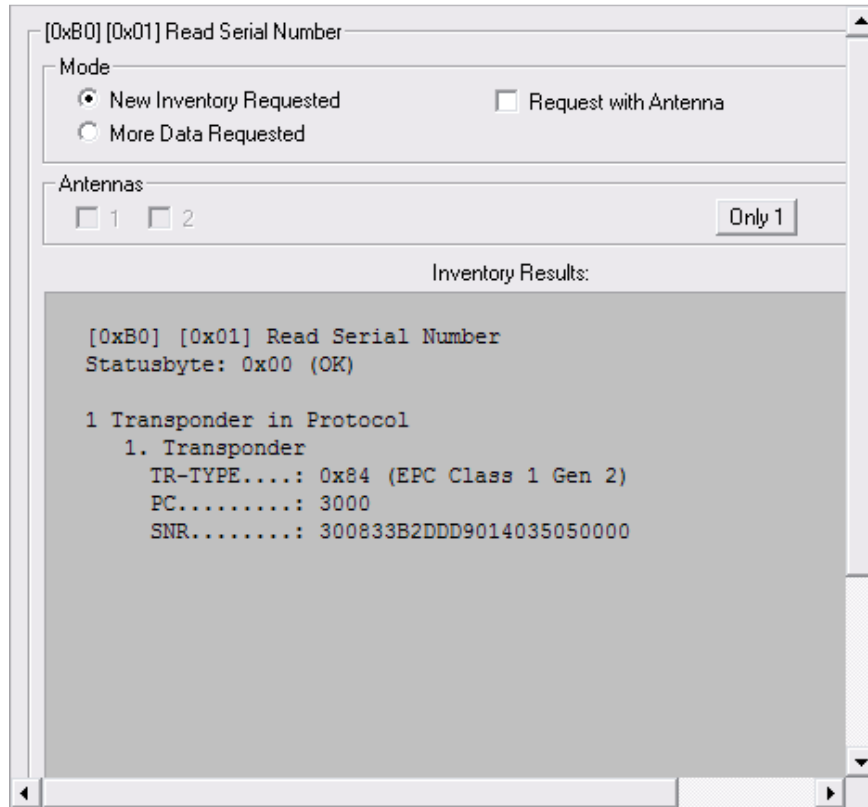
- **Barra de navegación (zona de color negro):** se corresponde con la barra de navegación donde se pueden seleccionar los distintos modos del lector.
- **Ventana de estructura (zona de color rojo):** ventana donde se muestra la estructura de la opción que se ha seleccionado en la barra de navegación.
- **Ventana de datos (zona de color azul):** ventana en la que se muestran y editan los datos del lector y de las etiquetas RFID.
- **Ventana de control (zona de color verde):** ventana de control para activar la comunicación.
- **Ventana de protocolo (zona de color amarillo):** ventana donde aparecen los protocolos intercambiados entre el lector y las etiquetas.

### A.3.1 Comandos

Cuando en la barra de navegación se elige la opción *Commands*, aparecen en la ventana de estructura todos los protocolos asociados al lector para la comunicación con los tags en el modo *Host*.

### → **Inventory**

Antes de llevar a cabo el intercambio de datos con la etiqueta, se necesita ejecutar el comando *Inventory* con el que se obtiene el identificador de las etiquetas que se encuentran dentro de la zona de cobertura del lector.



**Figura 47 – Resultados del comando *Inventory***

La información que se muestra al ejecutar este comando se corresponde con el tipo de etiqueta (0x84, EPC Clase 1 Gen 2), los datos almacenados en el protocolo de comunicación (3000) y el UID de la etiqueta (300833B2DDD9014035050000).

Después de ejecutar el comando *Inventory* ya es posible llevar a cabo otras acciones con el tag, como la lectura y escritura.

### → **Read**

Para ejecutar el comando *Read* es necesario antes realizar algunos ajustes:

- Seleccionar el modo direccionado para especificar qué etiqueta se quiere leer.
- Seleccionar el identificador de la etiqueta.
- Indicar la longitud en bytes del identificador. Si ésta es mayor que 8 bytes, hay que seleccionar el *Length Flag*.



- Elegir el banco de memoria en el que se va a realizar la lectura.
- Escoger la dirección de memoria, el número de bloques que se van a leer y el tamaño de dichos bloques.

[0xB0] [0x23] Read Multiple Blocks

Mode  
ADR: 1: addressed

UID resp. EPC  
300833B2DDD9014035050000  
☒ Length Flag Length: 12

Data  
☐ Extended Address Mode  
Bank: b11: User memory  
Address (dez): 0  
No of Blocks: 4 Block Size: 2

Access Password  
☐ enable Length: 0

DB 0: 42 E7 Bç  
DB 1: 30 00 0.  
DB 2: 30 08 0.  
DB 3: 33 B2 3\*  
DB 4: 00 00 ..  
DB 5: 00 00 ..  
DB 6: 00 00 ..  
DB 7: 00 00 ..  
DB 8: 00 00 ..  
DB 9: 00 00 ..  
DB 10: 00 00 ..  
DB 11: 00 00 ..  
DB 12: 00 00 ..  
DB 13: 00 00 ..  
DB 14: 00 00 ..  
DB 15: 00 00 ..  
DB 16: 00 00 ..  
DB 17: 00 00 ..  
DB 18: 00 00 ..  
DB 19: 00 00 ..  
DB 20: 00 00 ..  
DB 21: 00 00 ..  
DB 22: 00 00 ..  
DB 23: 00 00 ..

Byte Order: ☐ LSB first ☒ MSB first

OK

Figura 48 – Resultados del comando *Read*

#### → **Write**

Para ejecutar el comando *Write* se requiere realizar los mismos ajustes que con el comando *Read*. Además hay que tener en cuenta que si la etiqueta no cuenta con memoria de usuario, sólo es posible escribir en el banco EPC y en las direcciones en las que se almacena el identificador.

[0xB0] [0x24] Write Multiple Blocks

Mode  
ADR: 1: addressed

UID resp. EPC  
300833B2DDD9014035050000

☒ Length Flag      Length: 12

Data  
☐ Extended Address Mode

Bank: b11: User memory

Address (dez): 1

No of Blocks: 1      Block Size: 2

Access Password  
☐ enable      Length: 0

OK

DB 0: 00 00 ..  
DB 1: 11 11 ..  
DB 2: 00 00 ..  
DB 3: 00 00 ..  
DB 4: 00 00 ..  
DB 5: 00 00 ..  
DB 6: 00 00 ..  
DB 7: 00 00 ..  
DB 8: 00 00 ..  
DB 9: 00 00 ..  
DB 10: 00 00 ..  
DB 11: 00 00 ..  
DB 12: 00 00 ..  
DB 13: 00 00 ..  
DB 14: 00 00 ..  
DB 15: 00 00 ..  
DB 16: 00 00 ..  
DB 17: 00 00 ..  
DB 18: 00 00 ..  
DB 19: 00 00 ..  
DB 20: 00 00 ..  
DB 21: 00 00 ..  
DB 22: 00 00 ..  
DB 23: 00 00 ..

Byte Order: ☐ LSB first    ☒ MSB first

Figura 49 – Resultados del comando *Write*